Motorenkunde

Leitfaden

für die Mot II und Mot III Sonderlehrgänge und die Fachlehrgänge der UO Lfb II an den Marineschulen im Bereich der Schiffsmaschinen-Inspektion Wilhelmshaven

Bearbeitet:

Kapitän z. See (Ing.) Maskow

Marineschule Kiel

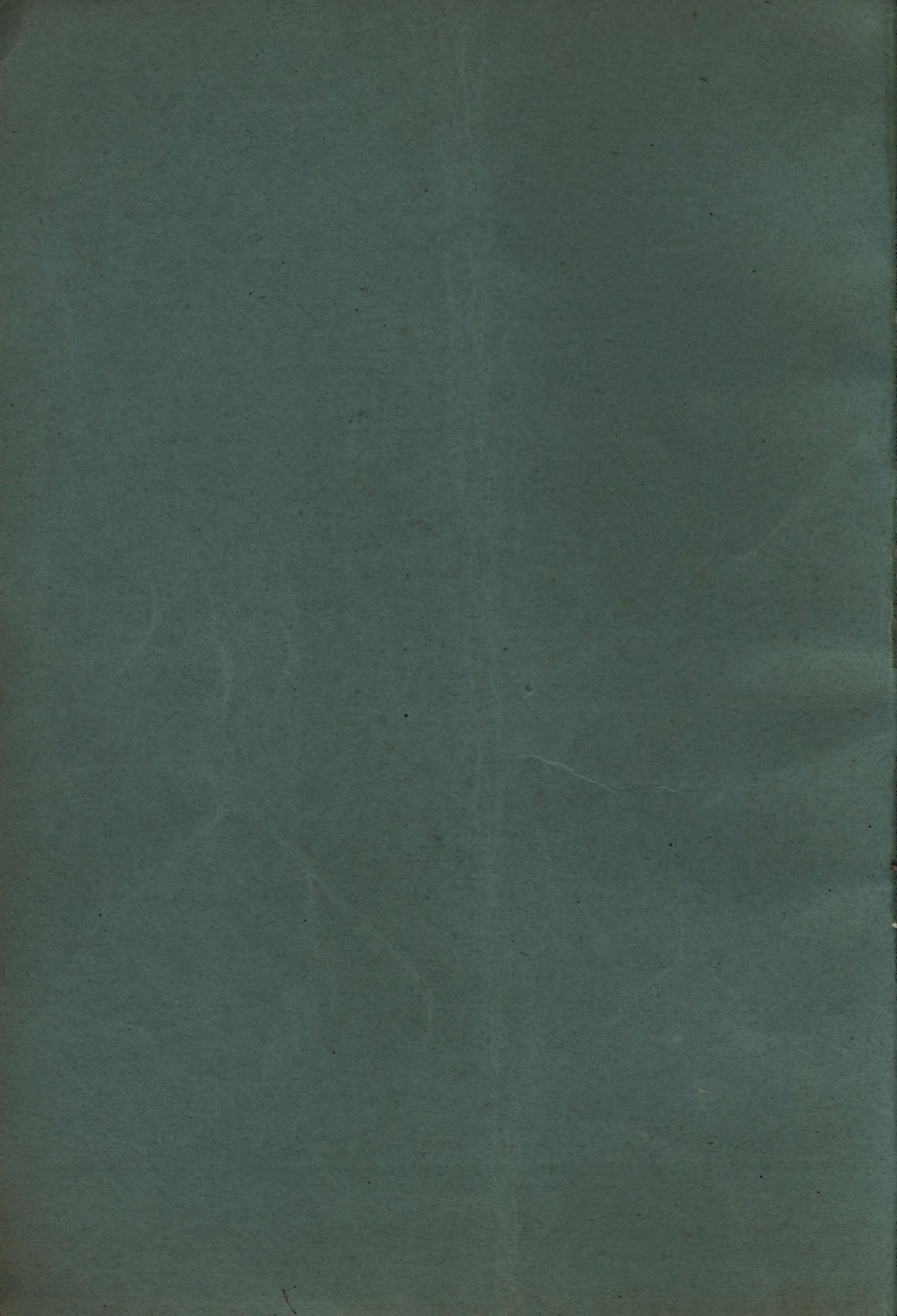
Herausgegeben:

Schiffsmaschinen-Inspektion
Wilhelmshaven

1942

Wortteil

Mot S 3. 42. Druck: Kommando der Marineschule Kiel. — 5. Auflage 75001 — 100000



Motorenkunde

Leitfaden

für die Mot II und Mot III Sonderlehrgänge und die Fachlehrgänge der U O Lfb II an den Marineschulen im Bereich der Schiffsmaschinen-Inspektion Wilhelmshaven

Bearbeitet:
Kapitän z. See (Ing.) Maskow
Marineschule Kiel

Herausgegeben:
Schiffsmaschinen-Inspektion Wilhelmshaven

1942

Wortteil

Mot S 3. 42. Druck: Kommando der Marineschule Kiel. — 5. Auflage 75001—100000

Inhaltsverzeichnis

Erster Teil

Zweiter Teil

Allgemeines über die Arbeitsweise der Verbrennungskraftmaschinen

Dritter Teil

Der Aufbau der Verbrennungskraftmaschinen

Seite

Vierter Teil

Der Einspritzdieselmotor

Fünfter Teil

Sechster Teil

Seite

Siebenter Teil

Anhang

ERSTER TEIL

A. Die Verbrennung

Unter Verbrennung versteht man die chemische Verbindung eines brennbaren Stoffes mit Sauerstoff. Diese Verbrennung geht unter Licht- und Wärmeentwicklung vor sich. Der zur Verbrennung nötige Sauerstoff wird der atmosphärischen Luft entnommen, die sich aus 21 Volumenprozenten Sauerstoff und 79% Stickstoff zusammensetzt. Gewichtsmäßig enthält 1 kg Luft 0,23 kg Sauerstoff.

Alle Brennstoffe sind Verbindungen von Kohlenstoff mit Wasserstoff (Kohlenwasserstoffe), die oft noch Beimengungen von Schwefel und Sauerstoff enthalten.

Die zur Verbrennung der einzelnen Bestandteile benötigten Sauerstoff- bzw. Luftmengen können auf Grund der chemischen Zusammensetzung der einzelnen Stoffe berechnet werden.

Der im Brennstoff enthaltene Wasserstoff verbrennt durch die Verbindung mit Sauerstoff zu Wasser, welches aber durch die hohe Temperatur sofort verdampft. Der Kohlenstoff verbrennt bei vollkommener Verbrennung zu Kohlendioxyd, bei unvollkommener Verbrennung zu Kohlenoxyd.

$$2\,H_2 + O_2 = 2\,H_2O \text{ (Wasser)}$$
$$C + O_2 = CO_2 \text{ (Kohlendioxyd)}$$
$$2\,C + O_2 = 2\,CO \text{ (Kohlenoxyd)}$$

Zur vollkommenen Verbrennung von 1 kg Treiböl sind 10,8 m³ Luft erforderlich (Abb. 9). Jedoch muß den Motoren immer ein gewisser Luftüberschuß zugeführt werden, wenn eine vollkommene Verbrennung in der sehr kurzen Zeit im Zylinder erreicht werden soll, die für den Verbrennungsvorgang zur Verfügung steht.

Zur Einleitung einer Verbrennung ist eine Erwärmung auf Zündtemperatur erforderlich. Die Einleitung der Zündung geschieht entweder durch Fremdzündung (Zündkerze bei Gas- und Otto-Motoren) oder durch die Verdichtungswärme bei den Dieselmotoren.

B. Gasförmige Brennstoffe

Hierzu gehören:

1. Leuchtgas, 2. Kraftgas aus Anthrazit, Koks und Braunkohle, 3. Hochofengas (Gichtgas), 4. Koksofengas.

Leuchtgas wird bei der Trockenschwelung der Steinkohle durch ihre Entgasung in glühenden Retorten oder Kammern gewonnen. Seine Hauptbestandteile sind Wasserstoff, Sumpfgas (Methan), Kohlenoxyd, einige schwere Kohlenwasserstoffe, Kohlensäure und Stickstoff. Der Heizwert beträgt etwa 4200 kcal/m³, die Wichte 0,52 kg/m³.

Kraftgas oder Generatorgas ist ein mit blauer, nichtleuchtender Flamme brennendes Gas. Es wird aus Anthrazit, Koks, Braunkohle, Steinkohle, Torf und Holzabfällen durch unvollkommene Verbrennung von Kohlenstoff (C) zu Kohlenoxyd (CO) in Generatoren gewonnen. Der Heizwert beträgt etwa 1200 bis 1350 kcal/m³.

Gichtgas wird als Nebenerzeugnis des Hochofenbetriebes gewonnen. Auf 10 t Roheisen kommen etwa 4000 m^3 Gichtgas, von denen 2000 m^3 für den Hochofenbetrieb selbst erforderlich, 2000 m^3 für andere Zwecke verfügbar sind. Das Gichtgas muß vor der Verwendung in Gasmotoren sorgfältig vom Staub gereinigt werden, da größerer Staubgehalt starke Abnutzung der Zylinderlaufflächen und andere Störungen zur Folge hat.

Der Heizwert schwankt zwischen 700 bis 1000 kcal/m^3, die Wichte betragen etwa 1,25 kg/m^3.

Koksofengas entsteht als Nebenerzeugnis bei der Herstellung des Hüttenkokses durch Entgasung der Steinkohle. Da die Herstellung fast dieselbe ist wie die des Leuchtgases, so hat Koksofengas fast dieselben Bestandteile wie Leuchtgas. Wichte 0,5 kg/m^3; Heizwert 4000 bis 5000 kcal/m^3.

Treibgase sind Kohlenwasserstoffe, Äthylen, Äthan, Propan und Mischungen dieser Stoffe. Der Luftschiffbau Zeppelin verwendet eine Mischung von Propan, Butan und Wasserstoff zum Antrieb seiner Maybach-Motoren. Der Heizwert beträgt etwa 16 000 kcal/m^3, die Wichte ist ungefähr gleich der der Luft.

Holzkohle-Sauggas hat in der letzten Zeit im Kraftfahrwesen große Bedeutung erlangt. Hier wird Holz in einem kleinen Generator vergast und das so gewonnene Holzgas dem Motor zugeführt.

Außerdem wird aus wirtschaftlichen Gründen Propangas (Flaschengas) in größerem Umfang verwendet.

C. Flüssige Brennstoffe

Man unterscheidet:

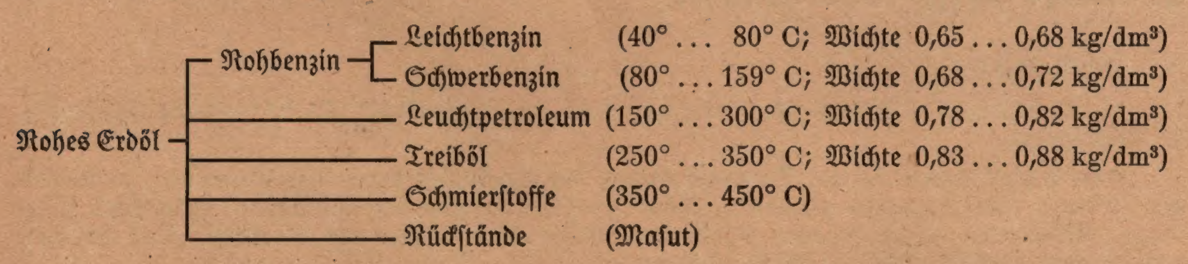
1. Das Erdöl und seine Siedetrennungen,
2. Die Siedetrennungen des Stein- und Braunkohlenteers,
3. Brennstoffgewinnung durch Krackverfahren (Wärmespaltung),
4. Brennstoffgewinnung durch chemische Verfahren,
5. Alkohole.

1. Das Erdöl und seine Siedetrennung

Das Erdöl, Rohöl oder Rohnaphtha ist ein Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe und kommt auf der ganzen Erde vor. Es wird aus Bohrlöchern entweder durch den auf ihm lastenden Gasdruck oder durch Pumpen gefördert (Abb. 1) und liefert weitaus den größten Teil der Brennstoffe und Schmierstoffe des Weltmarktes.

Es wird in stehenden oder liegenden Kesseln mit Feuerheizung oder durch überhitzten Dampf erwärmt. Bei dieser Trennung werden die im Erdöl enthaltenen Kohlewasserstoffe (etwa 80 bis 86% C und 10 ... 13% H) in der Reihenfolge ihrer Siedepunkte verdampft. Die Dämpfe werden in Luft- und Wasserkühlern niedergeschlagen und in sogenannten Vorlagen in 4 Gruppen oder Fraktionen aufgefangen (Abb. 3).

Ein anderes Verfahren verdampft zuerst das gesamte Erdöl und trennt es bei der Abkühlung in die verschiedenen Gruppen (Abb. 2).



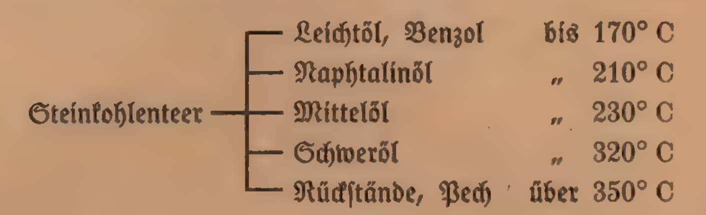
Da bei der ersten Siedetrennung eine scharfe Trennung der einzelnen Gruppen nicht möglich ist (Abb. 3), muß jedes Erzeugnis einer weiteren Bearbeitung unterzogen werden.

Durch die nachfolgende Reinigung (Raffination) werden noch Unreinigkeiten und Farbstoffe entfernt.

Das deutsche Erdölvorkommen ist gering (Abb. 5) und genügt nicht den erforderlichen Bedürfnissen. Für alle Länder ohne Erdölvorkommen ist daher die Gewinnung von Brennstoffen aus heimischen Rohstoffen von außerordentlicher Wichtigkeit, die aus Steinkohle, Braunkohle, Holz und anderen Kohlenwasserstoffverbindungen gewonnen werden.

2. Die Siedetrennungen des Stein- und Braunkohlenteers

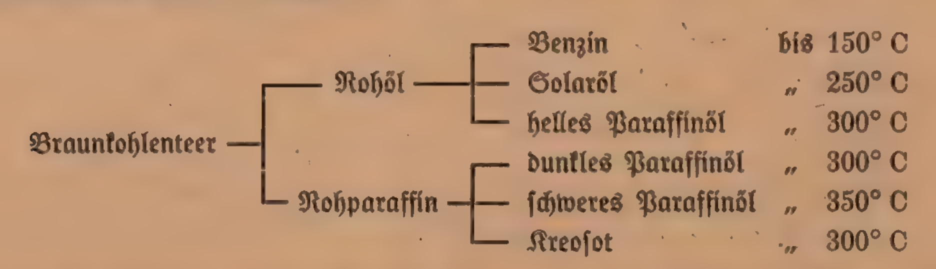
Der Steinkohlen- und Braunkohlenteer entsteht als Nebenerzeugnis des Kokereibetriebes und bei der Leuchtgaserzeugung der Gasanstalten. Bei der Verkokung entstehen Gase, deren Zusammensetzung je nach der verwendeten Kohle verschieden ist. Aus diesem Rohgas scheidet sich Rohteer und Rohbenzol aus, die durch Siedetrennung folgende Öle ergeben (Abb. 4):



Das Rohbenzol kann durch weitere Behandlung wieder in verschiedene Leichtöle zerlegt werden (Abb. 4).

Die Verkokung der Steinkohle geschieht normal unter etwa 1000° C (Hochtemperaturverkokung). Hierbei ist der Anfall an Teer nur sehr gering. Bei der Tieftemperaturverkokung (500° C) ist diese Ausbeute an Teer weit größer, so daß sich damit auch die Menge des Ausgangsstoffes zur Gewinnung von Motorenbrennstoffen vergrößert. Bei vorhandenen Hochtemperatur-Verkokungsanlagen hat man im Koksofen eine Zone angezapft, in der eine Temperatur von ca. 500° C herrscht und bekommt somit etwa die doppelte Menge an Teer.

Die Braunkohlenverkokung liefert das Braunkohlenteeröl. Diese Teeröle ergeben bei der Siedetrennung folgende Erzeugnisse:



Auch bei der Braunkohlenverkokung wird durch Anwendung tiefer Temperaturen (ca. 500° C) ein weit größerer Teeranfall erreicht. Die Schwierigkeiten, den Braunkohlenkoks abzusetzen, sind zur Zeit gelöst, so daß gerade die Braunkohlenverarbeitung große Bedeutung gewinnt, zumal ihre Produkte bessere motor- und schmiertechnische Eigenschaften besitzen. Diese Verarbeitung der Rohbraunkohle unter niedrigen Temperaturen bezeichnet man als Verschwelung.

Die Gewinnung von Brennstoffen und Schmierstoffen aus Holz, ölhaltigem Schiefer und Torf hat zur Zeit keine Bedeutung, da die gewonnenen Mengen nur gering sind.

3. Krackverfahren (Wärmespaltung)

Die Ausbeute an leichten Motorbrennstoffen bei der Siedetrennung (Destillation) des Erdöls und der Stein- und Braunkohlenteere ist nur gering. Man hat jedoch durch die Anwendung einer Wärme- und Druckbehandlung der schwer siedenden Anteile die Möglichkeit, größere Mengen von Leichtölen zu erhalten. Diese Verfahren nennt man Krackverfahren, ihre Erzeugnisse Krack- oder Spaltbenzine. Es gibt verschiedene Arten des Krackens. Alle beruhen darauf, daß man das Öl auf $\approx$ 400° C erwärmt und unter Druck setzt. Hierdurch werden die schwereren Kohlenwasserstoffverbindungen aufgespalten und in Leichtöle umgewandelt. Der aus dem Krackverfahren bleibende Rest besteht dementsprechend aus sehr schweren Kohlenwasserstoffen (Heizöl, Koks. Abb. 6).

Bei der Siedetrennung des Erdöls ergibt sich eine durchschnittliche Ausbeute von $\approx$ 28% Benzin, während unter Zuhilfenahme des Krackverfahrens $\approx$ 50% und noch mehr gewonnen werden.

4. Brennstoffgewinnung durch chemische Verfahren aus Kohle, Koks und anderen Rohstoffen

Während für die Siedetrennung und Krackverfahren als Hauptausgangstoffe das Erdöl, also ein aus dem Ausland eingeführter Rohstoff nötig war, kann durch die chemischen Verfahren als Grundstoff Braunkohle und Steinkohle benutzt werden (Abb. 6).

Die bekanntesten Verfahren sind zur Zeit:

a) Das Hydrierverfahren der I. G. Farbenwerke,

b) das Fischer-Tropsch-Verfahren.

Das Hydrierverfahren (Abb. 6 und 7) benutzt als Ausgangstoff Steinkohle, Braunkohle, Erdölrückstände und die aus der Verschwelung oder Verkokung anfallenden Teeröle, je nach Wahl (Abb. 6). Diese Stoffe werden in der Mühle zerkleinert und in dem Mischer zu einem Brei gemischt. Die Breipresse fördert den Brei nach dem Vorwärmer und von dort nach dem Hochdruckofen von ca. 15 m Länge und 1 m Durchmesser. Hier wird der Brei auf $\approx 450°$ C erhitzt, außerdem wird Wasserstoff unter 200 at Druck zugeführt (Abb. 7). Infolge der Wärmebehandlung wird, wie beim Krackverfahren, eine Aufspaltung der schweren Kohlenwasserstoffverbindungen erreicht, denen nun aber noch Wasserstoff angelagert wird, so daß nach diesem ersten Prozeß flüssige Öle entstehen, die etwa dem Treiböl entsprechen. Durch eine Ölpresse gelangen sie nochmals in einen Hochdruckofen und machen noch einmal denselben Erhitzungsprozeß und Wasserstoffanlagerung durch. In den Hochdrucköfen sind verschiedene Katalysatoren vorhanden, d. h. Stoffe, die an der eigentlichen chemischen Umsetzung nicht teilnehmen, deren Vorhandensein aber zum Ablauf der chemischen Umsetzung notwendig sind. Das Hydrierverfahren ergibt $\approx 90\%$ Benzinausbeute. Es wird vorläufig aus wirtschaftlichen Gründen nur für Leichtöle, also für die Betriebsstoffe der Ottomotoren angewandt, läßt sich aber auf Dieselbrennstoffe umstellen.

Das Fischer-Tropsch-Verfahren (Abb. 7a) arbeitet nach einem anderen Prinzip. Hier wird der Ausgangstoff — Koks und Braunkohle — in gasförmigen Zustand überführt. Diese Gase bestehen in der Hauptsache aus Kohlenoxyd und Wasserstoff. Bei Vorhandensein gewisser Kontaktstoffe lassen sich unter geringen Drucken und mäßigen Temperaturen petroleumähnliche Kohlenwasserstoffe aus dem Synthesegas ausfällen, die in Treiböle und Schmierstoffe umgesetzt werden können. Es werden bei dem Fischer-Tropsch-Verfahren $\approx 80\%$ des Rohstoffes verflüssigt. Der Prozeß ist billiger als das Hochdruckhydrierverfahren der I. G. Farbenwerke, da die hohen Drucke und Temperaturen vermieden werden. Es hat außerdem den Vorteil, daß sich der Ablauf des Umwandlungsverfahrens so steuern läßt, daß außer den Leichtölen auch Treiböle und Schmierstoffe gewonnen werden können, die in ihren Eigenschaften denen des Treiböles bzw. eines Marken-Motorenöles entsprechen.

Die Kontaktstoffe unterliegen beim Fischer-Tropsch-Verfahren einer stärkeren Abnutzung. Ihr Ersatz ist schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit nötig, ein Nachteil gegenüber dem I. G.-Verfahren, bei dem die Katalysatoren sehr lange brauchbar sind.

5. Die Alkohole

Es sind Kohlenwasserstoffverbindungen mit einem hohen Gehalt (35%) an Sauerstoff. Die hauptsächlichsten sind Methyl-, Äthyl- und Butylalkohol.

Alkohol wird aus Getreide und Kartoffeln gewonnen. Die darin enthaltene Stärke wird unter Verwendung von Malz in Zucker und dieser unter Hefezusatz durch Gärung in Alkohol verwandelt. Reiner Alkohol enthält in Gewichtsteilen 0,521 Kohlenstoff, 0,131 Wasserstoff und 0,348 Sauerstoff; die Wichte beträgt 0,7946 kg/dm^3, der Heizwert 6360 kcal/kg.

Da die vorgenannten Ausgangstoffe als Nahrungs- und Futtermittel immer größere Bedeutung erlangen, so verwendet man anorganische Stoffe als Ausgangbasis (Azetylen und Methan).

Alkohol wird somit auch nach dem Hochdruckhydrierverfahren gewonnen und kommt als Methanol in den Handel. Der Herstellungsprozeß verläuft ähnlich wie bei der Gewinnung des Benzins.

Alkohol bzw. Methanol muß den Betriebsstoffen für Vergasermotoren in einem gesetzlich festgelegten Prozentsatz beigemischt werden.

Spiritus ist ein Gemisch von Äthylalkohol und Wasser. Der Heizwert beträgt bei 80% Alkohol 5000 kcal/kg, die Wichte 0,794 kg/dm^3.

Holzspiritus ist ein Abkömmling des Holzessigs, der aus Holz durch Trockenschwelung gewonnen wird. Aus dem hierbei auch anfallenden Holzteer werden Leicht- und Schweröle (Benzol, Paraffin) gewonnen.

D. Verwendung der Brennstoffe und motortechnische Forderungen

Für Gasmotoren kommen alle gasförmigen Brennstoffe zur Anwendung. Ottomotoren werden durch flüssige Brennstoffe wie Benzin, Benzol, Spiritus oder auch mit Mischungen dieser Stoffe und, wie bereits erwähnt, mit Holzgas und Propan betrieben. Zum Antrieb von Dieselmotoren dienen hauptsächlich die als Treiböle bezeichneten schweren Abkömmlinge der Erdöl-, Steinkohlenteer-, Braunkohlenteer- und Urteersiedetrennungen. Alle diese Brennstoffe haben eine nach ihrer Herkunft ganz verschiedene Zusammensetzung. Außerdem erhält man aus den Rohstoffen je nach der Verarbeitung verschiedene Enderzeugnisse. Zur Beurteilung, ob ein Brennstoff für den Betrieb einer Verbrennungskraftmaschine geeignet ist, müssen darum bestimmte Kennzeichen angegeben werden.

Solche Kennzeichen sind:

1. Zündeigenschaften,
2. Verdampfungsdauer,
3. Siedezahl,
4. Wichte,
5. Zähflüssigkeit,
6. Flammpunkt,
7. Brennpunkt,
8. Stockpunkt,
9. Wassergehalt,
10. Alterungswert,
11. Säurezahl (Neutralisationsziffer),
12. Rückstände,
13. Farbe.

Für den Betrieb des Motors sind ferner von Wichtigkeit:

a) Leichtflüchtigkeit

Ein Bild für das Verhalten des Brennstoffes bekommt man durch das Aufzeichnen der Siedekurve in bestimmten Verdampfungsgeräten (Abb. 12). Der Brennstoff wird in einem geschlossenen Behälter erhitzt. Die bis zu bestimmten Temperaturen übergegangenen Bestandteile werden niedergeschlagen und mengenmäßig bestimmt. Die Werte werden in einem Kurvenblatt niedergelegt (Abb. 11). Aus der Siedekurve ergibt sich die Kennziffer, d. h. diejenige mittlere Siedetemperatur, die man erhält, wenn man die Temperaturen für 5, 15, 25 bis 95% übergegangener Menge addiert und durch 10 dividiert (Abb. 14), Kennziffer für Benzin 110 bis 130.

Die Siedekurve ist für die Bestimmung des Startvermögens eines Brennstoffes von Wichtigkeit. Ein Brennstoff wird das Anspringen eines Motors bei um so tieferen Temperaturen ermöglichen, je mehr leichtflüchtige Bestandteile er enthält. Hierfür ist nicht nur der Siedebeginn, sondern der ganze erste Teil der Siedekurve maßgebend.

Die leichtflüchtigen Bestandteile führen aber im Sommer bei außergewöhnlich hohen Außentemperaturen leicht dadurch zu Störungen im Motorenbetrieb, daß der Brennstoff Dampfblasen in der Rohrleitung bildet und so die Brennstoffzufuhr unterbindet. Verläuft das Ende der Siedekurve sehr flach, d. h. gehen die letzten Bestandteile des Brennstoffes erst bei hohen Temperaturen über, so besteht die Gefahr, daß diese Bestandteile nicht verbrennen, sondern sich an den gekühlten Zylinderwänden niederschlagen. Durch die Kolbenringe wird dieser Brennstoff abgestreift und gelangt in die Kurbelwanne; er verdünnt also hier das Motorenöl.

b) Reinheit

Anfressende und harzbildende Stoffe dürfen in einem Brennstoff nicht vorhanden sein. Wasser und Rostschlamm nimmt aber der Brennstoff in jedem Behälter auf, so daß eine gewisse Verunreinigung durch Filter, Wasserabscheider usw. bei der Übernahme bzw. im Betriebe am Motor beseitigt werden muß.

Die Farbe eines Brennstoffes ist keine Gewähr für seine Reinheit. Farblose Brennstoffe können Verunreinigungen enthalten. Durch längeres Lagern eines Brennstoffes kann sich infolge Sauerstoffaufnahme die Menge der harzigen Bestandteile ändern. Durch diese Bestandteile werden Verpichen der Ventile und ihrer Führungen, Koksansatz usw. verursacht.

Bestandteile, welche eine Siedetemperatur von über 200° C besitzen, sind zur motorischen Verbrennung in Ottomotoren ungeeignet (Petroleum).

c) Klopffestigkeit

Das Klopfen im Motor kann durch chemische Zusammensetzung des Brennstoffes, das Mischungsverhältnis (Brennstoff-Luft), durch das Verdichtungsverhältnis, die Zündstellung, Glühstellen oder Wärmestauung (verkokte Kolben), sowie durch hohe Temperaturen der Zylinderwandungen verursacht werden.

Hierbei steigt der Druck im Zylinder auf 40 ... 50 at, fällt schnell wieder ab, um wieder über die normalen Verbrennungsdrucke anzusteigen. Das Klopfen tritt nicht sofort bei der Zündung, sondern im letzten Drittel des Verbrennungsvorganges, also nach dem oberen Totpunkt, auf. Ist das Klopfen

durch den Brennstoff bedingt, z. B. schlechtes Benzin, so kann man durch Zusatz von Eisenkarbonyl oder Tetraäthyl den Brennstoff klopffest machen, indem man seine Selbstzündungstemperatur heraufsetzt.

Da die Wirtschaftlichkeit einer Verbrennungskraftmaschine von dem Verdichtungsverhältnis abhängt, so wird man durch Formgebung der Verbrennungsräume, Vermeidung aller scharfen Kanten und Einschnitte in Ventilen usw. eine möglichst hohe Verdichtung anstreben und gleichzeitig die Klopfneigung vermindern.

Da Benzole und Alkohole klopffestere Brennstoffe sind als die Benzine, so fügt man bei Eintreten des Klopfens diese Brennstoffe zu.

Bei Dieselmotoren wird das Treiböl in die verdichtete Luft eingespritzt und entzündet sich dann selbst. Es muß also ein bestimmter Verdichtungsdruck vorhanden sein, und das Treiböl muß geringe Verdichtungsfestigkeit besitzen, damit es auch bei langsam laufendem Motor und bei niedrigen Verdichtungsdrucken noch zündet. Alle Brennstoffe, welche im Ottomotor als klopffest gelten, verursachen daher Klopfen bei Dieselmotoren und umgekehrt.

Um ein Maß für die Klopffestigkeit eines Brennstoffes für Ottomotoren zu finden, benutzt man eine Mischung eines klopffesten Brennstoffes (Iso-Oktan) mit einem klopffreudigen Brennstoff (n-Heptan). Tritt bei einem zu untersuchenden Brennstoff Klopfen des Motors ein, so läßt man den Motor mit einer veränderlichen Mischung Heptan-Oktan unter gleichen Bedingungen in Betrieb, bis auch hier das Klopfen auftritt. Als Maß für die Klopffestigkeit dient die beigegebene Menge Oktan in Prozenten, die Oktanzahl. Ist z. B. gleiches Klopfen des zu untersuchenden Brennstoffes wie bei einem Gemisch von 18% Heptan und 82% Oktan festgestellt, so gibt man die Klopffestigkeit mit der Oktanzahl 82 an.

Da die deutschen Brennstoffe meist aus einem Gemisch von Benzin mit den kopffesteren Stoffen Benzol und Spiritus bestehen, so liegen die Oktanzahlen deutscher Brennstoffe höher als die der ausländischen Benzine. Bei der motorischen Prüfung von Treibölen von Dieselmaschinen in Prüfstandmotoren verwendet man Mischungen des leicht entzündlichen Ceten mit dem schwerer entzündlichen Mesitylen und bestimmt die motorische Eignung eines Treiböles nach den prozentualen Anteilen des Ceten, die man dem Mesitylen zusetzen muß, um gleiches motorisches Verhalten im Prüfstandmotor zu erzielen.

d) Heizwert

Der Heizwert gibt die Anzahl der Wärmeeinheiten an, die bei vollkommener und vollständiger Verbrennung von 1 kg des Brennstoffes abgegeben werden (Kiloheizwert).

Die Heizwertbestimmung geschieht durch Heizwertmesser. Der Literheizwert ist gleich der Zahl der Wärmeeinheiten aus einem Liter Brennstoff = Kiloheizwert · Wichte.

Der Heizwert der wichtigsten Brennstoffe für Motorenbetrieb ist in der Tabelle zusammengestellt:

Brennstoff	Wichte	Heizwert	
	kg/dm³	kcal/kg	kcal/l
Benzin	0,730	10400	7600
Benzol	0,875	9600	8400
Alkohol	0,795	6400	5090
Benzin-Alkohol 80/20 (Gew. %)	0,755	9600	7250
Benzin-Benzol-Alkohol 50/35/25	0,790	9520	7520
Treiböl	0,810	9680	7840

E. Verhalten der Brennstoffe bei motorischer Verbrennung

a) Allgemeines

Das Verhalten der Brennstoffe im Zylinder der Motoren läßt sich nicht ohne weiteres aus den Siedekurven und den vorgenannten chemischen und physikalischen Eigenschaften bestimmen. Die Verbrennung erfolgt bei den Ottomotoren sowohl wie bei den Dieselmotoren unter einem gewissen Druck, dem Verdichtungsdruck. Hierdurch verschiebt sich der Zündpunkt der Brennstoffe gegenüber den Ergebnissen, welche unter Atmosphärendruck gefunden werden, ganz beträchtlich. In Abb. 8 ist die Abhängigkeit der Zündtemperaturen vom Druck für verschiedene Brennstoffe und Schmierstoffe dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, daß bei höheren Drucken die Zündtemperaturen außerordentlich viel niedriger sind als unter Atmosphärendruck. Da Ottomotoren ein Brennstoff-Luft-Gemisch verdichten, so

kann hier die Verdichtung nicht beliebig hoch gewählt werden, andererseits muß bei dem Dieselmotor, in welchem das Treiböl sich an der durch Verdichtung erhitzten Luft entzündet, eine gewisse Zündtemperatur herrschen, also ein Mindest-Verdichtungsdruck erreicht werden.

b) Brennstoffe für Ottomotoren

Bei der motorischen Verbrennung müssen die Brennstoffe folgenden Bedingungen entsprechen:

Brennstoffe für Otto-Motoren sollen

a) leicht vergasbar sein, um schnell eine gleichmäßige Luft-Brennstoff-Mischung zu ermöglichen und Brennstoffniederschläge zu vermeiden;

b) ohne Rückstände verbrennen, um die Bildung von Koks und damit die Verschmutzung des Zylinders auszuschließen;

c) einen hohen Heizwert haben, um eine möglichst große Wirtschaftlichkeit zu erzielen;

d) lagerbeständig sein, um chemische Veränderungen während der Lagerung zu vermeiden;

e) verdichtungsfest sein, damit die bei neueren Ottomotoren notwendige hohe Verdichtung erreicht werden kann, da ja ein Brennstoff-Luft-Gemisch im Zylinder verdichtet wird.

Benzin besitzt von allen Brennstoffen den größten Heizwert (Abb. 10), würde also auch die größte Leistung bei der Verbrennung ergeben. Da es jedoch nur geringe Verdichtung verträgt, so wird hierdurch der Betrieb wieder unwirtschaftlich. Aus Abb. 9 ist ersichtlich, daß auch der Luftbedarf bei der Verbrennung von Benzin am größten ist, daß also die Zylinderabmessungen eines Benzin-Ottomotors entsprechend gewählt werden müssen.

Da Benzin außerordentlich niedrig siedende Bestandteile enthält, so ist das Startvermögen auch bei niedrigen Außentemperaturen gut. Die Gefahr der Dampfblasenbildung bei hohen Außentemperaturen ist bereits erwähnt.

Benzol hat sehr wenig leicht siedende Bestandteile, das Startvermögen wird dadurch bei niedrigen Temperaturen erschwert bzw. unmöglich gemacht. Benzol kann in Brennstoff-Luft-Gemischen sehr stark verdichtet werden, ohne Selbstzündungen zu ergeben (Abb. 8). Daher ist die Wirtschaftlichkeit bei motorischer Verbrennung trotz des geringeren Heizwertes (Abb. 10) ebensogut bzw. besser als bei Benzin. Der Luftbedarf ist geringer (Abb. 9). Aus der Siedekurve (Abb. 13) ist zu ersehen, daß der letzte Teil der Kurve fast horizontal verläuft, daß also schwer siedende Bestandteile vorhanden sind, welche sich niederschlagen und so zur Motorenölverdünnung führen. Diese unverbrannten Bestandteile führen leicht zum Verschmieren von Ein- und Auslaßventilen, Verkoken der Kolben u. a. m.

Spiritus hat einen um 30% niedrigeren Heizwert als Benzin und Benzol. Wegen seiner leichten Verdampfbarkeit und seiner hohen Verdichtungsfestigkeit, verbunden mit seiner großen inneren Verdampfungswärme, ergibt aber eine Beimischung von 10 . . . 20% Spiritus keinen merkbaren Leistungsabfall. Da Beimengungen von Spiritus das Gemisch stark abkühlen, so kann eine stärkere Aufladung des Zylinders erfolgen, zumal der Luftverbrauch von 1 kg Spiritus nur etwa die Hälfte beträgt als bei Benzin (Abb. 9). Rein-Spiritus wird nicht zum Antrieb von Motoren verwendet, dagegen besteht ein Beimischungszwang für Brennstoffe der Ottomotoren. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt auf volkswirtschaftlichem Gebiet, motortechnisch ist kaum hiergegen etwas einzuwenden. Alle Ottomotorbrennstoffe, mit Ausnahme des Leuna-Benzins, sind also Mischungen von den drei genannten Stoffen.

Mischungsverhältnis bei Ottomotoren

Luft und Brennstoff müssen bei der Verbrennung im Zylinder des Motors in einem bestimmten Verhältnis stehen, wenn eine Zündung und damit eine Arbeitsleistung eingeleitet werden soll. Es darf im Verbrennungsraum weder Luftmangel noch ein zu großer Luftüberschuß herrschen, weil sonst keine Zündung des Brennstoff-Luft-Gemisches erfolgt. Die Grenzen dieses Verpuffungsbereiches sind verhältnismäßig gering.

Die folgende Tabelle gibt die mittleren Werte für die vorgenannten Brennstoffe sowie für einige wichtige Gase in Gewichtsprozenten an:

Art des Brennstoffes	% Gehalt der Mischung an brennbarem Gas			
	keine Explosion	Explosionsbereich untere Grenze	Explosionsbereich obere Grenze	keine Explosion
Benzindampf	2,3	2,5 bis	4,8	5,0
Benzoldampf	2,6	2,7 „	6,3	6,7
Spiritus	3,9	3,95 „	13,65	13,7
Leuchtgas	7,8	8 „	19	19,2
Azetylen	3,2	3,3 „	52,3	52,4

c) Brennstoffe für Dieselmotoren

Treiböle sollen

a) rückstandslos verbrennen, um Koksbildung und Verschmutzung der Zylinder auszuschließen;
b) einen möglichst hohen Heizwert haben, um eine große Wirtschaftlichkeit zu erzielen;
c) lagerbeständig sein, um chemische Umsetzungen während der Lagerung zu vermeiden;
d) günstige Selbstzündungseigenschaften haben. Sie sollen zum Unterschied von Ottomotorbrennstoffen nicht verdichtungsfest, sondern zündfreudig sein, damit bei möglichst niedriger Verdichtung eine Selbstzündung gewährleistet ist.

Da der Dieselmotor mit einer hohen Verdichtung, also auch mit hohen Temperaturen im Zylinder arbeitet, so bietet die Verbrennung aller Brennstoffe, die in den Siedegrenzen bis 350° C liegen, keine Schwierigkeiten. Beimengungen leicht siedender Bestandteile sind kaum zu befürchten, da die Leichtöle wertvoller sind als die Treiböle für Dieselmotoren. Bei Teerölen muß die Verbrennung durch ein Zündöl eingeleitet werden, welches durch besondere Pumpen eingespritzt wird. Bei Vorkammer-Dieselmotoren kann man durch geeignete Zündeinsätze auch bei schnellaufenden Motoren die Einspritzung ohne Zündöl verwenden.

Um ein Vergleichsmaß der verschiedenen Brennstoffe bei ihrem Verhalten in der Maschine zu finden, führt Jentzsch den Begriff „Zündwert" ein. Durch Versuche ist bewiesen, daß Brennstoffe unter Druck leichter zur Selbstentzündung kommen als bei Atmosphärendruck. Dasselbe kann man erreichen, wenn man bei Temperaturerhöhung Sauerstoff zuführt. Je nach Stärke des Sauerstoffstromes erfolgt die Selbstzündung des Brennstoffes früher oder später.

Ergibt sich z. B., daß die niedrigste Temperatur, bei der ein Brennstoff sich selber entzündet, 360° C ist, und ist der zugeleitete Sauerstoff durch einen Blasenzähler auf 200 Blasen/min festgestellt, dann ist sein unterer Zündwert 360:200 = 1,8 Zündgrade. Geht man mit der Temperatur höher, so wird die Selbstzündung bei Zuführung von weniger Sauerstoff vor sich gehen, bis endlich der Sauerstoff der Luft genügt, um bei entsprechend höherer Temperatur eine Selbstzündung einzuleiten. Man erhält hierbei den „oberen" Zündwert. Unterhalb einer gewissen Temperatur wird keine Zündung eintreten, auch bei noch so großer Sauerstoffzufuhr. Durch Verändern der Temperatur und des Sauerstoffstromes innerhalb bestimmter Grenzen läßt sich also eine Kurve aufnehmen (Abb. 20), die Selbstzündungskurve, welche für das Verhalten von Brennstoffen hauptsächlich von Treibölen und Heizölen Aufschluß gibt.

F. Schmierstoffe und ihre Verwendung

In früherer Zeit wurden fast ausschließlich pflanzliche und tierische Öle zur Verminderung der Reibung verwandt. Mit der Gewinnung des Erdöles trat ein Umschwung in der Schmiermittelherstellung ein. Man verwendet heute fast nur noch Öle, die aus dem Erdöl gewonnen werden. Die Schmierstoffe teilt man in folgende Gruppen ein:

1. Mineralöle,
2. Öle aus Braunkohlen, Steinkohlen und Schiefer,
3. pflanzliche und tierische Fette und Öle,
4. zusammengesetzte Schmierstoffe.

Den Ursprungsstoff der ersten beiden Gruppen bilden die Rückstände der Erdöl-, Braunkohlenteeröl-, Steinkohlenteeröl- und der Schieferölsiedetrennung. Diese Rückstände werden noch weiter verarbeitet, bis ihnen alle flüssigen Bestandteile entzogen sind. Die so gewonnenen Öle sind in ihrer chemischen Zusammensetzung sehr verschieden.

Durch die Siedetrennung werden die einzelnen Ölsorten nur in bezug auf ihren Siedepunkt voneinander getrennt. Eine chemische Veränderung erleiden sie nicht. Es sind in ihnen noch Bestandteile von sauerstoff- und schwefelhaltigen Verbindungen, außerdem harz- und asphaltartige Stoffe vorhanden. Durch diese Stoffe verändern die Öle unter dem Einfluß des Sonnenlichtes ihre Farbe und erhalten einen Bodensatz. Sie können in diesem Zustand Beschädigungen der zu schmierenden Teile hervorrufen. Die schädlichen Stoffe werden durch Reinigung entfernt. Man behandelt die Öle mit konzentrierter Schwefelsäure, anschließend zur Entfernung der Säure mit Lauge und zum Schluß mit Reinigungserde. Durch diese Behandlung erhält man einen Schmierstoff, der frei von Beimengungen ist und nicht verharzt.

Zu 1. Das Erdöl liefert folgende Schmierstoffe, allgemein als Mineralöle bezeichnet: Spindelöl, leichtes Maschinenöl, schweres Maschinenöl, Zylinderöl und als letztes Schmiermittel, schon in ziemlich starrer Form, Vaseline.

Zu 2. Das Braunkohlenteeröl ergibt einen Schmierstoff, der wegen seines hohen Paraffingehaltes besonders behandelt werden muß.

Aus dem Schieferöl erhält man eine Reihe von Schmierstoffen, die eine sehr günstige Schmierwirkung haben und den Mineralölen gleichwertig sind.

Die aus Steinkohlenteeröl gewonnenen Schmierstoffe sind minderwertig und finden nur als Achsenöle und Wagenschmiere Verwendung. Kenntlich sind sie an dem unangenehmen, scharfen Geruch.

Zu 3. Bei den pflanzlichen und tierischen Schmierprodukten unterscheidet man Fette und Öle. Der Unterschied zwischen beiden liegt nur in ihrem Ausgangszustand. Fette sind bei gewöhnlicher Temperatur schmalzartig bis fest, Öle und Trane dagegen flüssig. Pflanzenfette und -öle gewinnt man aus dem Samen von Ölstauden. Als Rückstand bleibt der Ölkuchen zurück. Auch durch Behandlung des Samens mit chemischen Stoffen wird das Öl und Fett gelöst und dann ausgezogen. Die tierischen Fette und Öle werden meist durch Auskochen mit Dampf oder durch Auspressen gewonnen. Knochen werden unter Druck ausgekocht.

Die so gewonnenen Öle werden durch Filter und, wenn erforderlich, chemisch gereinigt.

Von den pflanzlichen Ölen kommen entweder rein oder mit Mineralöl gemischt zur Verwendung: Rüböl, Rizinusöl und Olivenöl.

Folgende tierische Fette und Öle werden als Schmiermittel verbraucht: Knochen- oder Klauenöl für feine Instrumente und Uhren; Tran nur in Verbindung mit Mineralölen.

Die Fette werden zu Schmierfetten verarbeitet. Die Verwendung der Schmierstoffe für die verschiedensten Zwecke bedingt eine entsprechende Menge zusammengesetzter Schmierstoffe. Man teilt sie in folgende Gruppen:

1. Reine Mineralölmischungen,
2. zusammengesetzte Öle,
3. Schmierfette.

Reine Mineralöle mischt man, um Öle einer bestimmten Zähflüssigkeit zu erhalten. Man mischt auch dünne Öle mit Rückständen und täuscht so gutes Öl vor. Die Mischung erfolgt in Kesseln mit Rührwerk bei Erwärmung von 90 ... 100° C. Zur Feststellung von Fälschungen benutzt man die Fettfleckprobe.

Reine Öle geben ein durchscheinendes klares Bild. Sind schwarze Punkte über der Fläche verteilt, dann ist eine Rückstandsmischung anzunehmen. Mischungen wesensfremder Öle (Mineralöl und Teeröl) haben starke Abscheidungen, die zur Verstopfung der Schmiernuten führen.

Unter zusammengesetzten Ölen versteht man Mischungen von Mineral- und Pflanzenöl. Diese Mischungen werden erforderlich, wenn besonders gute Schmierfähigkeit verlangt wird, z. B. bei Zylinderöl. Zu diesen Ölen rechnet auch das Voltolöl. Bei ihrer Herstellung werden die Öle unter schwachem Druck stillen elektrischen Glimmentladungen in einer Wasserstoffatmosphäre ausgesetzt. Man erreicht durch diese Behandlung eine besondere Zähflüssigkeit und verwendet diese Öle in solchen Fällen, in denen gewöhnliche Schmierstoffe nicht ausreichen, z. B. bei schnellaufenden Motoren. Bei hochwertigem Motorenöl wird durch Einblasen von heißer Luft der freie Wasserstoff gebunden. Man bezeichnet diese Öle mit „Geblasene Öle".

Schmierfette sind Verseifungen einer Mischung aus Mineralöl und Pflanzenöl. Das Staufferfett enthält z. B. Rüböl gemischt mit Mineralöl, beide dann verseift unter der Einwirkung von Alkalien. Der Hauptvorteil dieser Fette ist der sparsame Verbrauch und die saubere Handhabung.

G. Anforderungen an das Motorenöl

Das Öl dient in den Motorenanlagen nicht allein zum Schmieren, sondern teilweise auch zum Kühlen der Getriebeteile. Das Öl muß daher neben guten Schmiereigenschaften eine gute Beständigkeit gegen hohe Temperaturen besitzen.

Allgemein sind an Motorenöle folgende Forderungen zu stellen:

a) Schmierfähigkeit

Der Schmierfilm muß zäh und unzerreißbar sein. Diese Forderung ist insbesondere auch zu erfüllen bei Lagerstellen, die hohen Lagerdrucken und gleichzeitig hohen Temperaturen ausgesetzt sind.

b) Stockpunkt

Das Öl soll auch bei tiefen Temperaturen während des Anfahrens gut pumpfähig sein und schnell einen haltbaren Schmierfilm bilden. Das Öl muß daher einen niedrigen Stockpunkt haben.

c) Zähigkeits-Temperatur-Kurve

Bei hohen Temperaturen soll das Öl noch gut schmierfähig bei nicht zu niedriger Zähigkeit bleiben. Bei niedrigen Temperaturen soll die Zähigkeit möglichst niedrig sein. Die Zähigkeits-Temperatur-Kurve muß möglichst flach verlaufen.

d) Oxydation

Das Öl soll widerstandsfähig gegen Oxydation sein. Durch Oxydation entstehen Schlamm und Säure, die das Öl bald unbrauchbar machen. Nur gut gereinigte Öle sind gegen Oxydation widerstandsfähig.

e) Kennzündwert

Zur Vermeidung von Explosionen in Kurbelwannen, Rohrleitungen usw. sollen die vorgeschriebenen Kennzündwerte nicht überschritten werden.

f) Verdampfbarkeit

Das Öl muß hochsiedend sein, damit wenig Öl im Betrieb verdampft.

g) Alterung

Das Öl muß alterungsbeständig sein.

h) Emulgierbarkeit (Mischfähigkeit)

Das Öl darf mit Süß- und Seewasser nur kurzzeitig emulgierbar sein. Bei Dieselmotorenöl ist außerdem noch zu fordern: das Öl soll, wenn es verbrennt, möglichst vollständig verbrennen, damit keine oder nur wenig Ölkohle entstehen kann.

H. Veränderungen des Motorenöles im Betrieb

Das Öl ist im Betriebe folgenden Veränderungsmöglichkeiten ausgesetzt:

a) Verunreinigung durch feste Fremdteile (Metallteilchen, Ölkoksteilchen, Stoffasern usw.),
b) Verunreinigung durch fremde Flüssigkeiten (Seewasser, Süßwasser, Brennstoff),
c) Veränderung durch Verdampfen und Verbrennen,
d) Veränderung durch Alterung.

a) Feste Verunreinigungen

können bei Neuanlagen und Reparatur in das Öl gelangen. Es handelt sich dabei meistens um Metallspäne, Hammerschlag, Walzhaut, Putzwolle, Holzspäne und dergleichen. Aber auch im Betriebe ist das Öl mechanischen Verunreinigungen ausgesetzt. Diese Verunreinigungen entstehen vor allem durch Rost, der sich an den Wandungen der vom Öl bespülten Eisenteile (Lagergehäuse, Getriebegehäuse, Rohrleitungen, Sammelzellen) bildet, und durch das Öl abgewaschen und mitgerissen wird, ferner durch Ölkohle, die sich bei örtlicher Überhitzung und Verbrennung bildet und durch das nachfolgende Öl mitgenommen wird. Ölkohle kann sich auch bei stark schwankendem Betriebe und beim An- und Abstellen bilden. Rost entsteht vor allem in Betriebspausen durch Lufteintritt in die Ölräume, sowie durch Wasser verunreinigtes Öl. Mechanische Verunreinigungen sind schädlich, weil sie die Ölkanäle verstopfen können, Lagerstellen beschädigen (Kratzen, Schleifen) und auf die Alterung des Öles beschleunigend einwirken. Sie können weiterhin zu Explosionen in Rohrleitungen, Behältern usw. führen, weil sie die Entzündung von Öldämpfen begünstigen.

b) Verunreinigung durch Flüssigkeiten

Seewasser gelangt durch Zufluß an offenen Stellen der Ölräume, Entlüftungen, Wellendurchtritte sowie durch Leckagen an Bauteilen, die auf der einen Seite Öl und auf der anderen Seite Seewasser führen, Ölräume mit Kühlwasseranschlüssen und undichte Ölkühler in den Kreislauf.

Tropfwasser kann ebenfalls durch Undichtigkeiten und Schwitzen der Ölzellen in das Öl gelangen.

Wasser, in erster Linie Seewasser, kann mit dem Öl eine Emulsion bilden.

Dadurch wird die Schmierwirkung ungünstig beeinflußt, weil sich ein einheitlicher tragfähiger Ölfilm nicht mehr ausbilden kann. Die Emulsionsbildung wird bei bereits gelagertem Öl besonders stark einsetzen. Bei Seewassereinbruch sind die Maschinenanlagen in jedem Falle der Gefahr des Rostens ausgesetzt. Auch Süßwasser im Öl kann, namentlich in Betriebspausen, starkes Rosten zur Folge haben. Das Eindringen von Brennstoff in das Motorenöl verringert, je nach der Menge, die Zähigkeit des Öles und setzt vor allem den Flammpunkt stark herab. Dadurch besteht die Gefahr von Ölbränden und Ölexplosionen.

c) Veränderung durch Verdampfung und Verbrennung

Durch Verdampfung geht Motorenöl verloren. Die Öldämpfe können zu Explosionen Anlaß geben. Im Öl können namentlich durch Teilverdampfung Rückstände entstehen.

Verbrennung des Öles tritt namentlich bei Zylinderschmierung auf. Erfolgt die Verbrennung nicht restlos, so bildet sich Ölkohle, welche die Zylinderwandungen, Kolben, Kolbenringe, Auspuffwege und Ventile bedeckt. Ungeeignete Öle bilden harte Ölkohle, die einen schnellen Verschleiß der Zylinderwandungen und Kolbenringe sowie Festsitzen der Kolbenringe verursachen. Ölkohle aus dem Zylinderschmieröl kann namentlich bei Tauchkolbenmotoren in den allgemeinen Motorenölkreislauf gelangen.

d) Alterung des Motorenöles

Unter Alterung versteht man alle jene chemischen und physikalischen Vorgänge, welche die Anfangseigenschaften eines gegebenen Öles verändern. Sie werden bewirkt durch den Einfluß von Sauerstoff (Luft) und Wärme und können bei Anwesenheit bestimmter Metalle in verstärktem Maße auftreten.

Bei der Alterung der Öle tritt eine Änderung der Ölmoleküle durch die chemische Einwirkung des Sauerstoffs ein. Es bilden sich nach einer gewissen Betriebszeit Ölharze, die zunächst noch nicht die Schmierfähigkeit verschlechtern. Es ist im Gegenteil eine leichte Verbesserung festzustellen, die in der größeren Haftfähigkeit des Öles ihre Ursache hat. Dann nimmt jedoch die Schmierfähigkeit bald ab. Als nächste Stufe der Alterung ist eine Versäuerung festzustellen. Die Ölsäuren sind verseifbar und steigern in Gegenwart von Wasser die Emulsionsfähigkeit des Öles. Sodann treten Asphaltharze und schließlich Hartasphalte auf. Ausfällungen von Schlamm zeigen sich bereits bei Entstehung der Ölharze. Durch das Altern der Öle steigt die Zähigkeit, das Öl wird trübe und klebrig. Setzt man gealterte Öle der Einwirkung hoher Temperaturen aus, so bilden sich mehr oder weniger große Mengen Ölkoks. Die Alterungsneigung des Öles hängt in erster Linie von seinem chemischen Aufbau ab, sowie von der Art der Herstellung. Ein sorgfältig gereinigtes hochwertiges Motorenöl neigt weniger zur Alterung. Auch eine Vermischung artfremder Öle kann zur schnelleren Alterung führen.

Der Alterungsverlauf wird wesentlich beeinflußt von der Beanspruchung des Öles, von der Temperatur, von der Belüftung im Betriebe und von der Einwirkung aller Arten von Fremdstoffen. Vor allem wirken Metalle, besonders Blei und Kupfer, beschleunigend auf die Alterung. Fremdkörper im Öl wie Metallabrieb, Stoffasern, Ölschlamm und Ölkoks beschleunigen gleichfalls die Alterung.

J. Überwachung des Motorenöles während des Betriebes

Da durch die stete Veränderung eines Motorenöles während des Betriebes die Schmierfähigkeit eines Öles abnimmt, ist eine dauernde Überwachung des gütemäßigen Ölverbrauches erforderlich. Diese Überwachung ist im Heft 11 Pflege M. für die Motorenanlagen der Kriegsmarine festgelegt. Sie erstreckt sich:

1. Auf die vorschriftsmäßige Entnahme der Motoren-Ölproben,
2. auf die kleine Untersuchung während des Betriebes in Abständen von 4 Betriebsstunden,
3. auf die große Untersuchung nach 100...120 Stunden.

Die Entnahme der Ölproben

Die Ölproben für die kleine Untersuchung sind dem Motorenölkreislauf während des Betriebes an mehreren Stellen zu entnehmen. Auf keinen Fall darf das Öl dort entnommen werden, wo es zum Absetzen von Schlamm oder Wasser kommen kann, da dann die Untersuchungsergebnisse ein falsches Bild über den gütemäßigen Ölverbrauch ergeben. Für die große Untersuchung sind die Ölproben aus den Sammeltanks der Haupt- oder Hilfsmaschinenanlage zu entnehmen. Die Entnahme dieser Proben darf frühestens 5...6 Stunden nach dem Abstellen der Ölpumpe geschehen, damit das eventuell vorhandene Wasser oder der Ölschlamm sich am Boden des Öltanks absetzen können. Beim Entnehmen der Proben sind die abgesetzten Schlamm- und Wassermengen abzupumpen. Das Wasser ist auf die Art zu untersuchen, da daraus auf die Einbruchsstelle geschlossen werden kann.

Die kleine Untersuchung

Die Güte eines Motorenöles wird im Betriebe durch mechanische Beimengungen von Staub, Metallabrieb, Ölkoks und Ölharze sowie Wasser und Brennstoff stark verändert. Die kleine Untersuchung gibt Aufschluß über die Art der Veränderung. Sie erstreckt sich auf:

1. Äußere Merkmale, Farbe und Schlamm.
2. Bestimmung der Zähigkeit.
3. Bestimmung des Wassergehaltes und der Art des Wassers.
4. Die Emulgierbarkeit.

Zu 1. Ein Reagenzglas wird mit dem zu untersuchenden Öl gefüllt. Nach einer Stunde wird der Inhalt auf

a) Aussehen und Farbe (klar oder trübe),
b) Wasser oder Schlamm

geprüft.

Die Höhe der Wasser- bzw. Schlammschicht wird in cm angegeben.

Zu 2. Je größer die Zähigkeit eines Öles ist, desto langsamer wird es durch ein Röhrchen von bestimmtem Querschnitt aus einem Gefäß ausfließen.

Die Zähigkeit wird in Englergraden gemessen. Die Englergrade geben an, wieviel mal so groß die Ausflußzeit von 200 cm^3 Öl von Versuchstemperatur ist, als die Ausflußzeit der gleichen Menge destillierten Wassers bei 20° C.

Beispiel: Ausflußzeit des Wassers (Wasserwert des Gerätes) 51 s
Ausflußzeit des Öles bei Versuchstemperatur 50° C 408 s

$$\text{Zähigkeit des Öles } \frac{408}{51} = 8^\circ\,\text{E bei } 59^\circ\,\text{C.}$$

Die Bestimmung der Zähigkeit erfolgt mit dem Zähigkeitsmesser von Engler (Abb. 17). Da sich die Zähigkeit eines Öles mit der Erwärmung stark ändert, ist für jede Messung die Öltemperatur anzugeben.

Wichtiger als die Bestimmung der Zähigkeit eines neuen Öles bei einer Temperatur ist die Festlegung der Temperatur-Zähigkeitskurve. Sie wird ermittelt mit dem Schnellzähigkeitsmesser nach Dallwitz-Wegener und läßt die Temperaturabhängigkeit der Zähigkeit erkennen.

Das Gerät (Abb. 17) besteht aus dem Gehäuse a mit dem Ölgefäß b und dem Meßrohr c. Der Rohrstutzen dient zur Aufnahme des Thermometers, e ist das Ablaßventil. Im Gehäuse ist eine Schnecke drehbar angeordnet; die Achse dieser Schnecke ist mit einem Federmotor verbunden. Zwei Kühlanschlüsse ermöglichen Messungen unter Zimmertemperatur. Der für den Antrieb nötige Federmotor ist mit einer Umschalteinrichtung für zwei und drei Meßbereiche, einem Schalter für das Laufwerk und einem Geschwindigkeitsregler versehen. Bei jeder Umdrehung wird ein Lautgeber betätigt, dessen Tonfolge mit der Doppelschwingung eines mitgelieferten Pendels übereinstimmt. Die Schwingungszahl ist für jedes Gerät angegeben.

Zur Durchführung des Versuches füllt man das zu prüfende Öl in das Ölgefäß b, dann läßt man das Uhrwerk so lange laufen, bis das Öl ungefähr 5 cm hoch im Meßrohr steht. Nun läßt man den Stand im Meßrohr und Ölgefäß sich ausgleichen und verschiebt die Skala so, daß der Nullstrich mit dem Ölstand im Meßrohr übereinstimmt. Darauf wird bei stehendem Motor angeheizt, bis die Temperatur 105° C beträgt, dann wird die Heizung abgestellt. Während des Anheizens wird die Drehzahl des Motors mit den Pendelschwingungen abgestimmt. Nun wird bei fallender Temperatur von 5 zu 5° C die Zähigkeit abgelesen und in einem Kurvenblatt eingetragen.

Die Bestimmung des Wassergehaltes von Motorenöl

Wasser im Öl kann besonders bei Motorenöl schwerwiegende Folgen haben.

Die Bestimmung des Wassers erfolgt nach dem Verfahren von Oertel & Pflug.

Bringt man wasserfreies Bittersalz (Magnesiumsulfat) mit Wasser in Berührung, so verbindet es sich mit diesem unter Wärmeentwicklung.

Rührt man in eine abgemessene Menge eines wasserhaltigen Öles eine bestimmte Menge Bittersalz, so wird eine um so größere Temperaturerhöhung eintreten, je größer der Wassergehalt des Öles ist.

Ausführung der Bestimmung

Das Öl wird bis zur Ringmarke in das Ölgefäß eingefüllt. Das Ölgefäß wird in den Porzellanbecher gesetzt und mit dem Thermometer so lange gerührt, bis die Temperatur konstant bleibt. Diese Anfangstemperatur t_1 wird aufgeschrieben. Hierauf wird das Salzgemisch aus einem der Meßgläschen, ohne das Thermometer zu entfernen, in das Ölgefäß entleert und ohne Unterbrechung mit dem Thermometer in dem Öl verrührt. Der höchste Stand des Thermometers wird als Endtemperatur t_2 vermerkt. Ist die Temperatursteigerung größer als 13° C, so ist die Bestimmung mit verdünntem Öl zu wiederholen. Als Verdünnungsmittel ist wasserfreies, der Probe möglichst gleichwertiges Öl im Verhältnis 1 : 2 oder 2 : 1 zu verwenden. Auf jeder Flasche ist der Berechnungsfaktor angegeben. Multipliziert man diesen mit der Temperatursteigerung $t_2—t_1$, so erhält man den Wassergehalt des Öles in Prozenten.

Zum Beispiel:

Temperatursteigerung $t_2 - t_1 = 2{,}5°$ C
Berechnungsfaktor $f = 0{,}52$
Wassergehalt $= (t_2 - t_1) \cdot f$ in %
$2{,}5 \cdot 0{,}52 = 1{,}30\%$

Ist das Öl vorher verdünnt worden, so muß das Ergebnis mit 2 bzw. 3 multipliziert werden.

Bestimmung der Art des Wassers

Das Öl wird in zwei Schleudergläser gefüllt. Zu beiden Gläsern wird je ein Tropfen 10%ige Salpetersäure gegeben und durch kräftiges Rühren mit dem Glasstab in dem Öl verteilt. Dann wird das Öl geschleudert.

Das untere abgesetzte Wasser entnimmt man auf folgende Weise: Man führt die Spitze eines Glasrohres unter Zuhalten des oberen Endes durch das Öl hindurch bis auf den Boden des Schleuderglases. Gibt man dann das obere Ende frei, so tritt das Wasser in das Glasrohr ein, und man kann es nun wieder unter Zuhalten der oberen Öffnung herausnehmen.

Man entleert das Wasser auf eine blaue Glasscheibe, indem man einzelne Tropfen auf die Scheibe gibt. Direkt neben jeden Tropfen gibt man einen Tropfen 10%iges Silbernitrat und bringt beide Flüssigkeiten mit dem Glasrohr zum Zusammenfließen. Tritt hierbei ein weißer Niederschlag auf (Chlorsilber), der sich schnell zu größeren Flocken zusammenballt, so liegt Seewasser vor. Im anderen Falle handelt es sich um Süßwasser.

Bestimmung der Emulgierbarkeit nach der Schüttelprobe

Je 10 cm³ Motorenöl und Seewasser werden in einen 50-cm³-Mischzylinder gegeben, eine Minute kräftig durchgeschüttelt und dann eine Stunde stehengelassen.

Findet eine scharfe Trennung zwischen Öl und Wasser statt, so ist das Öl „nach der Schüttelprobe nicht emulgierend". Bildet sich eine Zwischenschicht von weniger als 1 cm³ aus, so ist das Öl „nach der Schüttelprobe schwach emulgierend". Ist die Zwischenschicht stärker als 1 cm³, so ist das Öl „nach der Schüttelprobe emulgierend".

Die große Untersuchung

Diese Untersuchungsart wird ergänzt durch die Bestimmung

1. der Neutralisationszahl,
2. des Selbstzündungspunktes nach Jentzsch,
3. des Kennzündwertes,
4. der Rückstandsbildung bei 500° C,
5. des Flammpunktes,
6. der Alterungsneigung.

Zu 1. In einen Mischzylinder werden 38 cm³ Alkohol und 2 cm³ Alkaliblau gegeben. Dieses Gemisch wird so lange mit alkoholischer Kalilauge versetzt, bis eine Rotfärbung eintritt. Dann werden 22 cm³ des Öles zugegeben. Nach kräftigem Durchschütteln (½ min) bleibt die Mischung so lange stehen, bis sich Öl und Alkohol getrennt haben. Nun werden 20 cm³ des Alkohols in einen Erlenmeyerkolben gegeben und tropfenweise mit alkoholischer Kalilauge versetzt, bis die Farbe in Rot umschlägt. Die dabei verbrauchten cm³ Kalilauge werden mit 0,7 multipliziert und ergeben die Neutralisationszahl.

Zu 2. Bestimmung mit dem Zündwertprüfer nach Jentzsch

Der Zündwertprüfer besteht aus folgenden Hauptteilen (Abb. 19):

Sauerstofftrockner,
Feinstellventil,
Ofen mit Zündtiegel,
Blasenzähler,
Druckminderventil,
Sauerstoffflasche.

Selbstzündungspunkt (Szp.) nach Jentzsch.

Dieser Selbstzündungspunkt ist die niedrigste Temperatur, bei welcher in einem Sauerstoffstrom von 300 Blasen/min Selbstzündung eintritt. Der Druckmesser des Druckminderventils muß hierbei 1 at Druck anzeigen.

Zu 3. Kennzündwert (Zk)

$$Z_k = \frac{to - tu}{bu + 1}$$

Hierin bedeutet to die Temperatur des oberen Zündwertes,
tu die Temperatur des unteren Zündwertes,
bu die niedrigste Blasenzahl.

Der Wert „1" stellt den aus der Luft hinzutretenden Sauerstoff dar. Leicht zündende Kohlenwasserstoffe haben hohe Kennzündwerte.

Zu 4. In einen Stahlbecher des Zündwertprüfers werden 12 Tropfen des Öles gefüllt und mindestens zwei Minuten in der Kammer des Zündtiegels einer Temperatur von 500° C ausgesetzt. Nach dem Abkühlen bringt man die Rückstände auf den Schieber des Vergleichgerätes. Die Menge wird mit dem Muster des Schiebers verglichen und mit Zahlenwerten (1 . . . 5) angegeben.

Zu 5. Die Bestimmung des Flammpunktes mit dem Zündwertprüfer von Jentzsch

Zur Bestimmung des Flammpunktes wird der Dreiflammenbrenner mit seinem Gelenk am Ofen des Zündwertprüfers befestigt. Die Flämmchen sollen Erbsengröße haben.

Man füllt einen Becher bis zur unteren Marke mit dem Öl und setzt ihn in eine Seitenkammer auf ein Zwischenstück des auf ungefähre Flammpunkttemperatur geheizten Ofens. Nach einer Minute beginnt man damit, die Gasflamme von Zeit zu Zeit 1 . . . 2 s lang über den Becher zu führen. Erfolgt nach drei Minuten keine Entzündung der Öldämpfe, so muß das Öl erneuert und die Temperatur gesteigert werden.

Die Ergebnisse stehen in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen des Pensky-Martens-Flammpunktprüfers. Will man den Flammpunkt in Übereinstimmung mit den Ergebnissen des

D.V.M.-Gerätes bringen, so setzt man den Stoff bereits beim Anheizen in den Zündtiegel. Das Öl wird dann nicht erneuert.

Zu 6. Die Alterung gibt einen Anhaltswert wie weit die Alterung des Öles unter dem Einfluß des Sauerstoffes und der Betriebstemperatur vor sich gegangen ist.

Die Alterungsneigung wird bei 250° C und 300 Bl/min festgestellt. Man füllt 1 cm³ in das Meßglas und setzt es in die Eingabekammer. Nach 1 Minute läßt man durch ein Glasrohr den Sauerstoff 10 Minuten lang in das Öl strömen. Hierauf entnimmt man 12 Tropfen zur Bestimmung des Rückstandes bei 500° C und füllt nach Abkühlung das Meßglas bis zur oberen Marke mit Normalbenzin auf und schüttelt gut durch. Nach 15 Minuten wird die Höhe des Ölschlammes abgelesen.

Der Ölwechsel

Alle Ergebnisse der Motorenöluntersuchungen werden in das Motorenüberwachungsbuch eingetragen. Haben die Kennwerte ihren Grenzwert erreicht, muß das Motorenöl ausgewechselt werden.

Dieser Ölwechsel wird bei warmer Maschine, kurz nach dem Abstellen der Anlage, durchgeführt. Dabei ist zu beachten, daß das alte Öl restlos aus der Maschine bzw. Anlage entfernt wird. Ölschlamm und andere Ablagerungen sind durch Auswischen mit Leinenlappen (keine Wischbaumwolle) zu beseitigen. Alle ölführenden Teile sind mit Spülöl auszuwaschen. Wenn keine Reste des alten Öles mehr vorhanden sind, darf neues, für den Betrieb geeignetes Öl aufgefüllt werden. Es ist zu beachten, daß der geringste Überrest des verbrauchten Öles die Alterung des neuen Schmieröls beschleunigt. Der Ölwechsel ist durchzuführen, wenn

1. die Neutralisationszahl den Wert 3 erreicht hat,
2. die Rückstände bei 500° C den Wert 4 erreichen,
3. der Kennzündwert den Wert 5 überschritten hat,
4. der Wassergehalt zur Emulsionsbildung führt,
5. der Flammpunkt des Öles unter 180° C gesunken ist.

K. Die Untersuchung der Brennstoffe

Nach den Vorschriften des O.K.M. gibt es bei der Untersuchung der Brennstoffe:

a) Kurzuntersuchung,
b) ausführliche Untersuchung.

Zu a). Kurzuntersuchung. Für schnelle Untersuchungen sind festzustellen:

1. Aussehen und Verunreinigungen

Ein Reagenzglas wird bis etwa 1 cm unter dem Rand mit dem Brennstoff gefüllt. Eine Stunde nach der Füllung wird der Glasinhalt geprüft auf:

Aussehen (ob klar oder trübe),
Wasser,
Schlamm.

2. Wichte

3. Zähflüssigkeit

4. Verbrennungseigenschaften nach dem Schnellverfahren mit dem Zündwertprüfer von Jentzsch

Das Schnellverfahren dient dazu, aus einer Reihe von Treibölen möglichst schnell die am besten geeigneten Treiböle auszuwählen.

An brauchbare Treiböle sind folgende Forderungen zu stellen:

1. Selbstzündungspunkt	Szp		$\leqq$	280° C	n. Jentzsch
2. Unterer Zündwert	Zu		$\geqq$	6	n. Jentzsch
3. Wartezeit	w		$\leqq$	4 s	n. Jentzsch
4. Rückstand bei 350° C	R 350			Spuren	n. Jentzsch
5. Rückstand bei 500° C	R 500			Spuren	n. Jentzsch
6. Verdampfungsdauer	v		$\leqq$	60 s	n. Jentzsch
7. Siedezahl	Sz		$\geqq$	33	n. Jentzsch
8. Alterungsneigung	A	R(A)	$\leqq$	3	n. Jentzsch
		Schlammhöhe	$\leqq$	3	n. Jentzsch

Alle Treiböle, die diesen Mindestforderungen entsprechen, erhalten auf dem Vordruck ein Plus, alle anderen ein Minus.

Das Schnellverfahren wird folgendermaßen durchgeführt:

1. Man stellt die Tiegeltemperatur auf genau 280° C ein und gibt bei einer Blasenzahl von 300/min der Reihe nach von allen zu prüfenden Treibölen einen Tropfen in die Eingabekammer. Erfolgt bei einem Treiböl keine Zündung, so wiederholt man die Eingabe.

2. Nun wird bei der gleichen Temperatur von 280° C eine Blasenzahl von 46 bei Treibölen eingestellt und die Prüfung wiederholt. Zündet das Treiböl, so wird in die Spalte Zu ein Plus eingetragen, zündet es nicht, so regelt man die Temperatur auf 290° C und 300° C ein. Zündet das Treiböl jetzt noch nicht, so trägt man ein Minus in die Tabelle ein.

3. Dann wird die Tiegeltemperatur auf genau 300° C fest eingestellt und mit 120 Bl/min die Wartezeit (w) festgestellt.

4. Nun werden je 12 Tropfen eines jeden Treiböles in die Becher gegeben. Nach Abstellen des Sauerstoffes und Erreichung einer Temperatur von 350° C werden die Becher der Reihe nach fünf Minuten lang in den Tiegel eingesetzt und die Menge des innerhalb der fünf Minuten nicht verdampfenden festen Rückstandes ermittelt. (Kennzeichen für die Neigung zu Filter- und Düsenverstopfungen.)

5. Nunmehr stellt man zur Bestimmung des Rückstandes bei 500° C diese Temperatur fest ein und gibt je 12 Tropfen in den Tiegel und stellt nach zwei Minuten mit Hilfe des Vergleichgerätes für die Rückstandsbestimmung den Zahlenwert fest.

6. Während der Rückstandsbestimmung wird gleichzeitig die Verdampfungsdauer festgestellt.

7. Die Ofentemperatur wird auf 500° C eingestellt. Das Meßglas wird mit 3 cm^3 Treiböl gefüllt und vier Minuten in die Zündkammer gestellt. Man liest die verdampfte Menge, z. B. 1,8 cm^3, ab und rechnet auf Teile von Hundert um, z. B.

$$Sz = \frac{1{,}8 \cdot 100}{3} = 60$$

8. Siehe unter: Die große Untersuchung, zu 6.

Zu b). Ausführliche Untersuchung. Bei der ausführlichen Untersuchung sind festzustellen:

1. Farbe,
2. Wichte,
3. Zähflüssigkeit,
4. Wassergehalt,
5. Art des Wassers,
6. Selbstzündungspunkt,
7. unterer Zündwert,
8. Wartezeit,
9. oberer Zündwert,
10. Kennzündwert,
11. Verdampfungsdauer,
12. Rückstand bei 500° C,
13. Rückstand bei 350° C,
14. Siedezahl,
15. Selbstzündungskurve,
16. Flammpunkt,
17. Alterungswert.

L. Sicherheitsvorschriften

1. Allgemeines

Die zum Betriebe der Motoren benötigten Brennstoffe, Benzin, Benzol, Benzolspiritus, Spiritus und ihre Gemische, sind sehr feuergefährlich, da diese Flüssigkeiten an der Luft bei normalen Wärmegraden verdunsten und gefährliche Brennstoff-Luft-Gemische bilden. Sie sammeln sich, weil sie selbst schwerer als Luft sind, am Boden und in Bilgen des Motorraumes an. Unter Umständen genügt schon das Überspringen eines elektrischen Funkens bei Kurzschluß oder Fehlzündungen, um diese Gase zur Entzündung zu bringen, die bei ihrer Heftigkeit mit nachfolgendem Brande die schwerwiegendsten Folgen mit sich bringen können.

Es ist deshalb von größter Wichtigkeit, daß die nachfolgenden Sicherheitsmaßregeln von allen Personen, die mit Motoren umgehen oder in Motorbooten beschäftigt sind, befolgt werden:

a) Im Motorenraum und in der Nähe von Treibölbunkern ist das Rauchen, Anzünden von Zündhölzern und der Gebrauch von offenem Licht verboten.

b) In der Nähe von Öfen, Herden und ihren Rohrleitungen dürfen keine brennbaren Gegenstände gelagert werden.

c) Vor Betreten der Treibölbunker sind diese gut zu lüften.

d) Auch in Räume außerhalb des Motoren- oder Brennstofflagerraumes kann gefährliches Brennstoff-Luft-Gemisch eindringen. Bei Brennstoffgeruch darf kein Feuer angezündet oder Kocheinrichtung usw. in Betrieb gesetzt werden. Der Raum muß gut gelüftet und die Ursache muß sofort festgestellt werden.

e) Zur Vermeidung von Kurzschlußgefahr und Funkenbildung sind elektrische Leitungen und Kabellampen stets auf gute Beschaffenheit zu prüfen. Arbeiten an unter Strom befindlichen elektrischen Leitungen sind verboten.

f) Vor dem Verlassen des Bootes oder Raumes sind sämtliche Brennstoff- und Unterwasserverschlüsse, sowie die Seitenfenster und Luken zu schließen.

2. Übernahme und Verwendung von Brenn- und Schmierstoffen

a) Bei der Brennstoffübernahme ist sämtlichen dabei beschäftigten oder in der Nähe befindlichen Personen das Rauchen verboten. Die für die Übernahme abgeteilten Leute sind vorher über die Feuergefährlichkeit des zu übernehmenden Brennstoffes eingehend zu belehren.

b) Die Übernahme feuergefährlicher Brennstoffe soll möglichst nur bei Tageslicht geschehen, nachts ist elektrische Beleuchtung zu verwenden.

c) Zum Einfüllen der Brennstoffe ist stets ein Trichter mit Sieb und darübergelegtem Filterstoff zu verwenden.

d) Die Hähne der Brennstoffbestandsanzeiger sind nur zum Ablesen des Bestandes zu öffnen, sonst stets geschlossen zu halten.

e) Brennstoff darf nicht verspritzt werden; besonders sind die Bilgen frei von Brennstoff zu halten. Verschüttete Treibmittel sind sofort aufzunehmen, aus dem Raum zu entfernen und unschädlich zu machen. Unter den Vergasern sind Tropfbecken anzubringen und stets leer zu halten.

f) Motoren und Handzündgeräte dürfen bei geöffneten Brennstoffbehältern und bei Übernahme von Brennstoff nicht gedreht werden.

g) Die Brennstoffbehälter sind beim Füllen öfter auf ihren Inhalt zu prüfen, um ein Überlaufen aus Füll- und Entlüftungsrohren zu verhüten. Auch ist die gesamte Brennstoffanlage stets auf Dichtsein zu beobachten.

h) Das Öffnen und Schließen der Verschraubungen an Brennstoffbehältern darf wegen Funkenbildung nicht mit Schlagwerkzeugen geschehen, sondern hat stets mit Schlüsseln zu erfolgen.

i) Auf Dichtsein der Übernahmeschläuche und deren Verschraubung ist sorgfältig zu achten.

k) Nach jeder Brennstoffübernahme sind die Brennstoffräume und die Motorenräume zu lüften.

l) In Booten dürfen keine losen Kannen mit Brennstoff gefahren werden, außer einer kleinen feuersicheren Kanne mit vorschriftsmäßiger Beschriftung, deren Inhalt für das Reinigen der Zündkerzen verwandt wird. Sie muß an einem bestimmten Platz im Motorenraum gehaltert sein.

m) Es ist verboten, Brennstoff zum Reinigen von Maschinen oder Bootsteilen im oder am Boot zu verwenden. Das Reinigen der Zündkerzen bildet eine Ausnahme; es ist ebenso wie das Prüfen mit dem Kerzenprüfer außerhalb des Motorraumes vorzunehmen. Reinigung von Leichtmetallteilen hat stets mit nichtbrennbaren Reinigungsmitteln zu erfolgen.

3. Maßnahmen vor, während und nach dem Betriebe

a) Die Bilgen sind von feuergefährlichem Brennstoff freizuhalten. Brennstoff und ölhaltiges Wasser dürfen im Hafen wegen der Verunreinigung und zur Vermeidung von Brandgefahr auf dem Wasser nicht nach außenbords gepumpt werden, sondern sind an Land zu tragen und dort unschädlich zu machen.

b) Eine besondere Gefahr bilden Gefäße, in denen feuergefährliche Brennstoffe enthalten waren. Bei Arbeiten an solchen Gefäßen ist größte Vorsicht geboten. Sie sind mit Kohlensäure oder, wenn dies mit Rücksicht auf die auszuführenden Arbeiten nicht zulässig ist, mit Wasser zu füllen.

c) Das Motorenöl ist öfter zu untersuchen. Motorenöl, das den Anforderungen nicht mehr entspricht, ist auszuwechseln.

d) Die elektrische Anlage ist stets in Ordnung zu halten. Funkenbildung durch beschädigte Leitungen, Springen von Bürsten auf dem Stromwender des Generators und des Umformers ist sofort zu beseitigen. Schadhafte Schalter sind zu ersetzen.

e) Durchgeschlagene Sicherungen sind durch neue zu ersetzen; sie dürfen auf keinen Fall mit Draht geflickt werden.

f) Beim Auffüllen der Nickelstahlbatterie mit Kalilauge ist Vorsicht geboten. Die Lauge wirkt stark ätzend. Es sind Gummihandschuhe zu verwenden.

g) Undichtigkeiten der Auspuffleitungen sind zur Vermeidung von Kohlenoxydvergiftungen sofort zu beseitigen.

h) Bei Frostgefahr sind, wenn die Heizanlage nicht in Betrieb ist, die Kühlräume und Leitungen gewissenhaft zu entwässern.

i) Bei starkem Frost ist auch aus den Motoren, Rohrleitungen und Behältern das Öl zu entfernen.

k) An Unterwasserverschlüssen darf nur im Dock oder bei aufgesetztem Boot gearbeitet werden.

l) Nur bei vollkommen gebrauchsfähigen Feuerlöscheinrichtungen einschließlich Handlöschern dürfen Motoren in Betrieb genommen werden.

4. Feuerlöschmaßnahmen

a) Die Feuerlöscheinrichtung muß stets in Ordnung und gebrauchsfähig sein.

b) Die Feuerlöscher sind so anzubringen, daß sie auch bei starkem Brande noch erreichbar sind. Ihre Befestigung muß ohne jegliches Hilfsmittel lösbar sein, den Feuerlöscher jedoch auch bei schwankendem Boot sicher festhalten.

c) Die Leitungen der Zentralfeuerlöschanlage dürfen nicht geknickt und die Düsen müssen sauber sein.

d) Bei Vergaserbränden sind die Motoren n i c h t abzustellen, dagegen die Brennstoffzufuhr zu schließen. Diese Maßnahme hat den Zweck, die Flamme aus dem Vergaser zu saugen und dort übergelaufenen Brennstoff im Motor zu verbrennen.

e) Kleine Brände kann man schon durch Ausschlagen oder durch Überwerfen einer Jacke oder Decke löschen.

f) Bei größeren Bränden, die mit Handlöschern nicht wirksam bekämpft werden können, sind nach Verlassen des betreffenden Raumes sämtliche Oberlichter, Niedergänge und Luftschächte und die Entnahmeventile der Brennstoffbehälter von Oberdeck aus zu schließen. Die Druckluftbehälter sind von Oberdeck nach außenbords zu entleeren. Gleichzeitig ist die Zentralfeuerlöschanlage für diese Räume auf kurze Zeit anzustellen.

g) Nach dem Löschen des Feuers sind die betreffenden Räume g u t zu lüften; in dringenden Fällen sind sie wegen etwa entstandener Giftgase mit Flottenatmer zu betreten.

h) Gebrauchte Feuerlöschgeräte sind s o f o r t neu zu füllen bzw. auszuwechseln.

i) Im Winter sind die Geräte mit Winterfüllung zu füllen.

k) Bei Brandgefahr auf dem Wasser sind die Boote sofort aus dem Feuerbereich zu bringen. Ist dies nicht möglich, so muß versucht werden, das Feuer durch den Wasserstrahl eigener oder fremder Feuerlöschschläuche von den Booten fernzuhalten.

l) Die Ursachen jedes ausgebrochenen Feuers sind nach dessen Bekämpfung eingehend festzustellen und vorgefundene Mängel sofort zu beseitigen.

m) Motoren, Heizanlagen usw. dürfen erst nach Instandsetzung der g e s a m t e n Feuerlöschanlage wieder in Betrieb genommen werden.

5. Pflege der Heizöl- und Treibölvorräte

Vorratsbunker sind häufig auf Wasser- und Schmutzgehalt durch Probeentnahme an der tiefsten Stelle zu untersuchen. Falls infolge Kälte Ausscheidungen in den Bunkern auftreten, ist unter gleichzeitiger Erwärmung des Öles so lange umzupumpen, bis die Ausscheidungen sich wieder gelöst haben. Das Öl darf dabei bis auf etwa 50° C angewärmt werden.

Sicherheits- und Schutzmaßnahmen

Sämtliche Einrichtungen der Bunker sind in entsprechenden Zeiträumen zu untersuchen. Sollten sich an irgendeiner Stelle Undichtigkeiten oder sonstige Übelstände zeigen, so ist sofort für Abhilfe zu sorgen.

Alle für die Sicherheit des Betriebes vorgesehenen Vorrichtungen müssen immer einwandfrei arbeiten und sind daraufhin zu überwachen. Unregelmäßigkeiten an diesen Einrichtungen sind sofort zu beseitigen.

Die Hähne auf den Peilrohren der Bunker sind stets geschlossen zu halten und mit einem Vorlegeschloß zu sichern, dessen Schlüssel der vom Leitenden Ingenieur damit betraute Abschnittsmaschinist in Verwahrung zu nehmen hat.

Die Bunkerheizung ist abzustellen, sobald die Ferntemperaturmesser mehr als 50° C anzeigen und sobald die Entnahme von Öl aus einem Bunker aufhört, damit sich keine Gase oder Dämpfe bilden, die zu Explosionen führen können.

Zeigt der Ferntemperaturmesser eines Bunkers eine höhere Temperatur als 50° C an, so ist das in diesem Bunker befindliche Öl in einen anderen Bunker umzupumpen.

Wegen der leichten Entzündbarkeit der zur Verwendung kommenden Heiz- und Treiböle ist eine aufmerksame Überwachung aller Bunker und zugehörigen Pumpen, Geräte und Rohrleitungen

sowohl während, wie außer Betrieb, die erste Pflicht des mit der Bedienung und Instandhaltung dieser Anlage betrauten Personals. Eine Nachlässigkeit kann die folgenschwersten Havarien nach sich ziehen. Der Flammpunkt des verwendeten Brennstoffes darf die zulässigen Grenzwerte nicht unterschreiten.

Bunker sind gegen Feuer besonders zu schützen. Es ist darauf zu achten, daß Dampfstrahlen aus undichten Dampfleitungsflanschen nicht gegen die Bunkerwände blasen. Namentlich an Heißdampfleitungen sind derartige Mängel sofort abzustellen. Auch die strahlende Wärme heißer Abgasleitungen darf nicht auf die Bunkerwände wirken.

Die Bilgen von Kessel- und Dieselmotorenräumen sind stets besonders sauber und möglichst trocken zu halten. Es darf auch kein Reinigungszeug (Putzwolle, Lappen) in die Bilgen gelangen, da hierdurch die Saugestutzen der Lenzleitungen verstopft werden.

Sind Arbeiten an unter Druck befindlichen Heiz- und Treibölleitungen usw. notwendig, so ist hierbei größte Vorsicht geboten, da versteckt liegende Herstellungsfehler zur Auswirkung kommen können, die selbst bei Anwendung des besten Werkstoffs und der vollkommensten Prüfungsarten sich nicht vermeiden lassen.

Offenes Feuer, außer für die Lunten beim Anzünden der Kessel oder offenes Licht darf in Kesselräumen und Dieselmotorräumen nicht benutzt werden. Desgleichen sind Schweißarbeiten an Bunkern, die nicht gemäß den Sicherheitsvorschriften vorbereitet sind, strengstens verboten. Werden Schweißarbeiten an den Dichtungskonen der Ölleitungen ausgeführt, so ist darauf zu achten, daß die Wanddicke des Rohres an dieser Stelle nicht unzulässig geschwächt wird.

Brände sind möglichst im Entstehen unter sofortigem Einsatz von Handfeuerlöschern zu bekämpfen. Führen diese Maßnahmen nicht sofort zum Erfolg, so sind unverzüglich die Dampf-, Schaum- oder Gaslöschanlagen anzustellen. Ölbrände können mit Wasser nur dann gelöscht werden, wenn geeignete Sprühgeräte vorhanden sind.

6. Hautentzündungen durch Heiz- und Treiböle

Es ist nach Möglichkeit zu vermeiden, daß Hände und Gesicht mit Heiz- oder Treiböl, besonders mit dem Heizöl, in Berührung kommen, da diese oft ätzend auf die Haut wirken. Hat sich eine Berührung nicht vermeiden lassen und stellt sich infolgedessen Brennen der betreffenden Hautflächen ein, so sind diese sorgfältig mit Spiritus zu reinigen, alsdann mit einer 1%igen Lösung von doppelkohlensaurem Natron kräftig abzutupfen und darauf mit Reispuder einzupudern. Ist Heiz- oder Treiböl in die Augen gelangt, so sind diese nur mit der Natronlösung auszuwaschen. In allen Fällen einer Beschädigung durch Heiz- oder Treiböl ist die Hilfe des Arztes in Anspruch zu nehmen.

7. Vorschriften über Prüfung und Behandlung von Druckluftbehältern

Die Druckluftbehälter aller in Betrieb befindlichen Anlagen sind jährlich einmal auf innere Verschmutzung und Anfressungen zu untersuchen und sorgfältig zu reinigen. Die Reinigung kann zweckmäßig durch Ausspülen mit einer starken Sodalösung und Ausblasen mit Druckluft erfolgen. Alle zwei Jahre sind die Behälter einer Druckprobe mit dem Probedruck zu unterziehen. Es ist hierbei zu prüfen:

Behälter mit einem Betriebsdruck p werden mit einem Probedruck gedrückt:

bei einem Betriebsdruck unter 10 at	$p + 5$ at
bei einem Betriebsdruck von 10 bis 100 at	$p \cdot 1{,}5$ at
bei einem Betriebsdruck über 100 at	$p + 50$ at

Werden jedoch bei der jährlichen Untersuchung neue Anfressungen festgestellt, so ist die Druckprobe auch dann vorzunehmen, wenn erst ein Jahr seit der letzten Druckprobe vergangen ist.

Über die Untersuchungen und Druckproben ist Buch zu führen, ferner ist auf dem an der Luftflasche angebrachten Schild das Datum der Kontrollprobe anzugeben. Das Schild muß folgende Angaben enthalten:

Fabrikant und Baujahr:
Fabrikationsnummer:
Inhalt:
Betriebsdruck, höchster: kg/cm²
Probedruck: kg/cm²
Geprüft am:
Kontrollproben am:

Auf dem Schild muß genügend Platz für Angaben der späteren Kontrollproben vorgesehen werden.

ZWEITER TEIL

Allgemeines über die Arbeitsweise der Verbrennungskraftmaschinen

A. Die Vorgeschichte des Ottomotors

Unter „Verbrennungskraftmaschinen" versteht man alle mit gasförmigen, flüssigen oder festen Brennstoffen betriebenen Maschinen, die ohne Zuhilfenahme eines Wärmezwischenträgers die Verbrennung im Zylinder direkt erfolgen lassen und durch die hierbei entstehende Druck- oder Raumzunahme Arbeit zu leisten fähig sind.

Schon vor einigen hundert Jahren wurde der Gedanke erwogen, leicht entzündbare und rasch verbrennende Stoffe in einem Zylinder zu verbrennen und die entstehende Wärme mit Hilfe eines Kolbens und eines Triebwerkes in Arbeit umzusetzen.

Papin versuchte 1688 Pulver als Brennstoff zu verwenden. Aufzeichnungen und Patentschriften aus dem Anfang des 19. Jahrhunderts lassen erkennen, daß der Weg zur Verwirklichung der Verbrennungskraftmaschine erkannt war.

Im Jahre 1860 gelang es dem französischen Mechaniker Lenoir, eine betriebsfähige Gasmaschine zu bauen, die auch Nutzarbeit zu leisten vermochte. Die Maschine war in ihrem Aufbau und ihrer Arbeitsweise in engster Anlehnung an die damalige Dampfmaschine gebaut. Der doppeltwirkende Zylinder war wassergekühlt, und zwei Schieber steuerten das Leuchtgasluftgemisch und die verbrannten Gase. Während eines kurzen Teiles des Kolbenweges wurde durch den geöffneten Einlaßschieber Luft und Leuchtgas eingesaugt. Dann schloß sich der Schieber, und durch eine elektrische Zündvorrichtung erfolgte die Zündung der Ladung. Ein rascher Druckanstieg war die Folge der Verbrennung und der damit verbundenen Raumvergrößerung. Der folgende Teil des Hubes war Arbeitshub und brachte eine Ausdehnung der Verbrennungsgase. Nach dem Hubwechsel drängte der zurückgehende Kolben die verbrannten Gase durch den geöffneten Auslaßschieber heraus.

Die Zündung erfolgte ungefähr in der Mitte des Kolbenweges, also dann, wenn der Kolben die größte Geschwindigkeit hatte. Hierdurch traten sehr heftige Stöße im Getriebe auf, die eine vorzeitige Zerstörung des Werkstoffes nach sich zogen. Auch bei der Kolbenumkehr traten dieselben Stöße auf.

Die Abgase wurden durch Schieber gesteuert, die eine starke Schmierung verlangten und leicht festbrannten.

Der Gasverbrauch der Maschinen war sehr hoch und damit die Wirtschaftlichkeit sehr gering, so daß die Maschinen nicht in der Lage waren, als Konkurrenten der Dampfmaschinen aufzutreten.

Die nächste, im Jahre 1867 auf der Weltausstellung in Paris in der Öffentlichkeit erscheinende Maschine der Deutschen Otto und Langen arbeitete auch noch nicht nach einem dem Gas als Betriebsstoff angepaßten Verfahren. Allerdings war es den Erfindern gelungen, die hauptsächlichsten Unzulänglichkeiten der Lenoir-Maschine zu vermeiden.

Im Jahre 1878 erschien, wieder anläßlich einer Pariser Weltausstellung, der neue Gasmotor von Otto an der Öffentlichkeit, bei dem zum erstenmal ein Arbeitsverfahren angewandt wurde, das sich streng dem gasförmigen Brennstoff anpaßte.

Das Viertaktarbeitsverfahren

Bei dem Gasmotor von Otto wurde die Ladung vor der Zündung verdichtet und die Zündung selbst im Totpunkt des Kolbens vorgenommen. Dieses Arbeitsverfahren, das wohl schon vorher bekannt, aber von ihm zum ersten Male an einer größeren Maschine ausgeführt worden war, ist grundlegend für die Weiterentwicklung der Verbrennungskraftmaschine geworden. Um einen Arbeitshub zu erhalten, mußten vier Hübe ausgeführt werden, weshalb man von einem „Viertaktverfahren" spricht.

In Abb. 21 ist das Verfahren schematisch für einen stehenden Motor dargestellt. Der abwärtsgehende Kolben saugt durch das geöffnete Einlaßventil ein Gemisch von Gas und Verbrennungsluft an (I. Takt). Aufwärtsgehend verdichtet der Kolben das Gemisch auf einen bestimmten Enddruck (II. Takt). Im oberen Totpunkt erfolgt die Zündung, und das durch die Verbrennung hochgespannte Gas treibt den Kolben arbeitleistend nach unten, wobei die Gasspannung sinkt (III. Takt). Der wieder aufwärtsgehende Kolben schiebt die verbrannten Gase durch das geöffnete Auslaßventil aus dem Zylinder heraus (IV. Takt). Dann wiederholt sich der Vorgang.

In vier Hüben, denen zwei Umdrehungen der Kurbelwelle entsprechen, ist also ein in sich abgeschlossener Arbeitsvorgang vollendet worden. Dabei wird nur während eines Hubes Arbeit verrichtet und nach außen abgegeben. Während dreier Hübe wird Arbeit verzehrt und dem Schwungrade oder anderen Zylindern entnommen.

Die Verbrennung geht bei einem solchen Motor sehr rasch vor sich, die Ladung verpufft sofort nach der Zündung. Während des rasch verlaufenden Verbrennungsvorganges wird der Kolben nur einen geringen Weg zurückgelegt haben. Man bezeichnet darum Motoren dieser Art als Verpuffungs- oder Gleichraummotoren. Das Viertaktarbeitsverfahren wird bei den weitaus meisten Gas- und Ottomaschinen angewandt, z. B. bei Flug- und Fahrzeugmotoren der Automobilindustrie. Bei sehr kleinen Motoren (Krafträder) wendet man häufig das Zweitaktarbeitsverfahren an.

B. Die Vorgeschichte des Dieselmotors

Im Jahre 1892 trat der deutsche Ingenieur Rudolf Diesel mit einer theoretischen Abhandlung über einen neuen Wärmemotor an die Öffentlichkeit, der mit sehr hohen Spannungen und Temperaturen arbeitet und alle bis dahin bekannten Wärmekraftmaschinen in bezug auf Ausnutzung des Brennstoffs weit in den Schatten stellen sollte.

Die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.G. und Friedrich Krupp A.G. gaben Diesel Gelegenheit, einen Versuchsmotor zu bauen. Obwohl sehr viele der ersten Gedanken Diesels sich als unausführbar erwiesen, erreichte der nach vier Jahren erscheinende erste Motor eine bisher nicht gekannte Brennstoffausnutzung. In dem Dieselmotor war eine Maschine geschaffen worden, die schon in den ersten Ausführungen 30 ... 32% der nutzbaren Wärme in Arbeit umsetzte, gegenüber 8% bei der damaligen Dampfmaschine. Ein weiterer Grund seiner Wirtschaftlichkeit liegt in der Verwendung der billigeren Treiböle, gegenüber den Brennstoffen der Ottomotoren.

Beispiel:

Ein Ottomotor von 1000 PS verbraucht an Benzin etwa 250 g/PSh.

Im Handel kostet Benzin etwa 40 Rpf das Liter, die Wichte sei 0,75 kg/dm³.

Es kostet dann der Betrieb bei Vollast an Brennstoff:

$$1000 \cdot \frac{0{,}250}{0{,}75} \cdot 0{,}40 = 133{,}33 \text{ RM stündlich.}$$

Dieselbe Anlage als Dieselmotor von 1000 PS verbraucht an Treiböl etwa 180 g/PSh. Im Handel kostet Treiböl etwa 15 Rpf das Liter, die Wichte sei 0,86 kg/dm³. Es kostet dann der Betrieb bei Vollast an Treiböl:

$$1000 \cdot \frac{0{,}180}{0{,}86} \cdot 0{,}15 = 31{,}40 \text{ RM stündlich.}$$

Im Schiffsmaschinenbau hat der Dieselmotor der Dampfmaschine erheblichen Abbruch getan.

Auf Kriegsschiffen, wo die Maschinenanlage ein geringes Gewicht pro Leistungseinheit (kg/PS) haben muß, um die notwendigen großen Leistungen für die hohen Geschwindigkeiten unterbringen zu können, hat der Dieselmotor ebenfalls festen Fuß gefaßt.

Für größere Kriegsschiffe werden Dieselmotoren, unter Bevorzugung der schnellaufenden Motoren bei Verwendung von Räderzwischengetrieben, gebaut.

Das Arbeitsverfahren der Dieselmotoren

Der grundlegende Gedanke Diesels für seinen Motor war die hohe Verdichtung der Verbrennungsluft zur Erzielung eines hohen wärmewirtschaftlichen Wirkungsgrades. Bei der nachfolgenden Einführung des fein verteilten Brennstoffes in die verdichtete und durch die Verdichtung hoch erhitzte Luft ergab sich eine Zündung ohne Zuhilfenahme irgendeiner besonderen Zündeinrichtung. Der Brennstoff wurde mit Hilfe von Druckluft eingeblasen. Hierbei ergab sich eine annähernde Gleichdruckverbrennung (siehe Einblasemotor, Teil 7), d. h. es trat keine wesentliche Druckerhöhung im oberen Totpunkt bei der Zündung ein.

In neuerer Zeit ist der Einblasemotor fast vollständig von dem Einspritzdieselmotor verdrängt worden. Hierbei erfolgt die Zuführung des Treiböles unter hohem Druck unmittelbar durch die Treibölpumpe. Bei Einspritzdieselmotoren ergibt sich eine starke Drucksteigerung bei dem Einsetzen der Zündung, also keine Gleichdruckverbrennung. Die Einspritzdieselmotoren arbeiten entweder nach der Vier- oder Zweitaktarbeitsweise.

1. Das Viertaktarbeitsverfahren der Dieselmotoren

1. Takt: Der abwärtsgehende Kolben saugt durch das geöffnete Einlaßventil reine Luft an.

2. Takt: Aufwärtsgehend verdichtet der Kolben diese Luft bei geschlossenen Ventilen auf 30 ... 40 at, wobei die Temperatur der Luft bis etwa 600° C steigt. 15 ... 20° vor dem oberen Totpunkt wird das Treiböl fein verteilt in die erhitzte Luft eingespritzt. Das Treiböl entzündet sich an dieser heißen Luft und verbrennt. Durch den Zündverzug erfolgt diese Verbrennung erst im oberen Totpunkt. Der Zünddruck steigt hierbei auf 45 ... 60 at.

3. Takt: Der Kolben wird von dem Druck der verbrannten Gase arbeitleistend nach unten getrieben. Hierbei dehnen sich die Gase aus, der Druck im Zylinder fällt.

4. Takt: Der wieder aufwärtsgehende Kolben schiebt die verbrannten Gase durch das geöffnete Auslaßventil ins Freie.

Damit ist in vier Hüben oder Takten, also bei zwei Umdrehungen der Kurbelwelle, ein in sich geschlossener Arbeitsvorgang vollendet. Drei Hübe sind arbeitsverzehrend, und nur ein Hub leistet Nutzarbeit zur Arbeitsabgabe des Motors. An Hand des Schaubildes (Abb. 22) sollen die Vorgänge bei den einzelnen Takten genauer betrachtet werden. Gleichzeitig sollen die Ventilbewegungen, bezogen auf die Kurbeldrehung, in dem Steuerbild gezeigt werden.

Linie 1 ... 2 zeigt den Druckverlauf im Zylinder während des Einsaugehubes. Die Ansaugelinie liegt unterhalb der atmosphärischen Linie. Es herrscht also während des Einsaugens ein geringer Unterdruck im Zylinder. Die Höhe des Unterdruckes kennzeichnet die Größe des Widerstandes, den die Luft beim Einströmen in den Zylinder findet. Mit wachsendem Einsaugewiderstand muß auch der Unterdruck größer werden. Der Querschnitt des Ventils, sein Hub und der Reinheitszustand der Einsaugeleitung und die Drehzahl sind maßgebend für den Unterdruck im Zylinder und damit für die Größe des Luftgewichtes, das nachher für die Verbrennung zur Verfügung steht. Um bei Beginn des Ansaugehubes einen möglichst großen freien Ventilquerschnitt zu haben, beginnt man mit der Eröffnung des Ventils, ehe der Kolben die obere Totlage erreicht hat. Aus demselben Grunde läßt man das Ventil auch nach dem unteren Hubwechsel des Kolbens noch eine kurze Zeit geöffnet. Infolge des im Zylinder vorhandenen Unterdruckes wird auch noch Luft nachströmen, wenn der Kolben selbst keine Saugewirkung mehr ausübt. Auf diese Weise wird der Zylinder möglichst weitgehend mit Verbrennungsluft geladen.

Im zweiten Hub wird die Luft vom Ansaugedruck aus verdichtet. Die Ventile sind geschlossen, und der aufwärtsgehende Kolben drückt die Luft bis auf den benötigten Druck zusammen, der zur Einleitung der sicheren Zündung des Treiböles nötig ist. Liegt die Einsaugelinie sehr tief, so ist beim Hubwechsel noch ein Unterdruck im Zylinder vorhanden, so daß der eigentliche Verdichtungshub erst im Schnittpunkt der Atmosphärenlinie mit der Verdichtungslinie beginnt. Die Verdichtung der Ladung ist von großem Einfluß auf den Wirkungsgrad des Motors. Mit steigendem Verdichtungsdruck sinkt theoretisch der Treibölverbrauch je Pferdestärke. Praktisch ist jedoch auch der Höhe des Verdichtungsdruckes eine Grenze gesetzt, da die Gestänge, Lager und alle Bauteile des Motors stärker gehalten und so tote Gewichte während der drei anderen Hübe des Motors mitgeschleppt werden müssen. Die hierdurch entstehende Reibungsverluste heben die Vorteile einer hohen Verdichtung nicht nur auf, sondern können bei zu hoch getriebenen Verdichtungsdrucken den Gesamtwirkungsgrad des Motors heruntersetzen. Die Verdichtungsdrucke schwanken daher zwischen 30 ... 40 at.

Im Zylinder des Motors wird das Volumen V der Ladeluft durch den Kolben auf das Volumen V_c des Verbrennungsraumes zusammengepreßt, da beim Kolbenhub das Volumen V_h verdrängt wird (Abb. 22). Der Grad der Verdichtung ist also abhängig von dem Verhältnis des Zylinderraumes zum Verbrennungsraum. Wird das Verdichtungsverhältnis mit ε bezeichnet, so ist:

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

Das bei Dieselmotoren gebräuchliche Verdichtungsverhältnis beträgt 12 ... 18.

Der Beginn der Einspritzung liegt vor dem oberen Totpunkt. Er muß unter Berücksichtigung der Drehzahl und des Zündverzuges so gelegt werden, daß die eigentliche Zündung im oberen Totpunkt erfolgt. Durch die Zündung und Verbrennung des Treiböles erfolgt ein plötzlicher Druckanstieg auf etwa 45 ... 60 at. Das nach dem oberen Totpunkt eingespritzte Treiböl verbrennt, da der Brennraum inzwischen auf sehr hohe Temperaturen (1600 ... 1800° C) gekommen ist, zum größten Teil mit sehr kleinem Zündverzug. Das Ende der Einspritzung ist abhängig von der jeweiligen Leistung des Motors (siehe Leistungsregelung). Die verbrannten Gase treiben den Kolben arbeitsleistend nach unten. Der erste Teil der Verbrennung geschieht fast im gleichen Raum (hoher Druckanstieg), im weiteren Verlauf der Verbrennung vergrößert der abwärtsgehende Kolben rasch das Volumen des Verbrennungsraumes, so daß trotz der weiteren Treibölzuführung und Verbrennung im Schaubild ein fallender Druck zu erkennen ist. Die Ausdehnungslinie 4 ... 5 folgt demselben Gesetz wie die Verdichtungslinie. Die Ausschublinie 5 ... 6 liegt über der atmosphärischen Linie, weil die verbrannten Gase bei ihrem Weg ins Freie den Widerstand des Auslaßventils, der Abgassammelleitung und des Schalldämpfers zu überwinden haben. Da die Ausschubarbeit von dem Kolben des Motors zu leisten ist und die Nutzarbeit verringert, müssen diese Widerstände so gering wie möglich sein. Dem Auslaßventil, das selbst einen erheblichen Teil dieses Widerstandes verursacht, ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Wie aus dem Steuerbild hervorgeht, beginnt die Eröffnung des Auslaßventils schon ziemlich weit vor unterer Totlage des Kolbens. Der damit herbeigeführte Vorauslaß soll die Entspannung der Gase auf atmosphärischen Druck in der Totpunktstellung des Kolbens ermöglichen, um einen zu großen Gegendruck auf den Kolben zu verhüten. Das Auslaßventil wird über den oberen Totpunkt hinaus offengehalten, um die Strömungsenergie der Abgase zum Spülen des Verdichtungsraumes auszunutzen. Es soll in der oberen Totpunktlage im Verdichtungsraum durch die Energie der beschleunigten Gasmasse ein Unterdruck erzeugt werden, um im Verein mit der Voröffnung des Einlaßventils einen Frischluftstrom durch den Verdichtungsraum zu saugen, aus dem die Gase nicht durch den Kolben verdrängt werden können.

Die obere Fläche des Schaubildes stellt die im Innern des Zylinders geleistete Arbeit dar, die bei jedem geschlossenen Arbeitsvorgang erzeugt wird, während die untere, von der Einsauge- und der Ausschublinie umschlossene kleine Fläche die Pumparbeit zeigt, die der Motorkolben für das Reinigen und Laden des Zylinders herzugeben hat. Im Steuerbild (Kurbelkreis und Wellenform) wird im Punkt 1 das Einlaßventil geöffnet und im Punkt 2 geschlossen. Das Einlaßventil wird vor dem oberen Totpunkt geöffnet, um im oberen Totpunkt beim Hubwechsel den vollen Ansaugequerschnitt zu erhalten. Das Ventil wird nach dem unteren Totpunkt geschlossen, um die Strömungsgeschwindigkeit der Luft und den im Zylinder herrschenden Unterdruck zur besseren Füllung auszunutzen.

Während des Weges, den die Kurbel von Punkt 3 ... 4 durcheilt, wird Treiböl eingespritzt. Das Ende der Einspritzung (Punkt 4) ist jedoch abhängig von der jeweiligen Leistung. Ungefähr 30 ... 50° vor dem unteren Totpunkt (Punkt 5) öffnet die Nockenwelle im dritten Takt das Auslaßventil. Die verbrannten Gase sollen sich bis zum unteren Totpunkt selbst entspannen, damit der Kolben im 4. Takt die Abgase leichter ausschieben kann. Das Auslaßventil wird erst nach dem oberen Totpunkt geschlossen (Punkt 6).

2. Das Zweitaktarbeitsverfahren der Dieselmotoren

Beim Zweitaktverfahren wird das Einsaugen der Luft und das Ausschieben der verbrannten Gase nicht mehr dem Arbeitskolben übertragen. Eine Spülpumpe oder ein Gebläse saugt die Verbrennungsluft an, verdichtet sie auf einen geringen Überdruck und fördert die Spül- und Ladeluft in einen Aufnehmer und in die Arbeitszylinder.

In Abb. 23 ist ein Zweitaktarbeitsschaubild sowie ein Steuerschaubild in Wellenform und ein Kurbelkreisschaubild gezeichnet. Der Kolben möge im oberen Totpunkt stehen, die Verbrennungsluft im Zylinder verdichtet haben und das Einspritzen des Treiböles gerade vor sich gehen. Das Treiböl entzündet sich an der erhitzten Luft und verbrennt. Der Vorgang ist durch die Linie 1 ... 2 gekennzeichnet. Der nach unten gehende Kolben leistet Arbeit, und der Druck im Zylinder sinkt nach der Kurve 2 ... 3. Wenn die Kurbel etwa 40° vor dem unteren Totpunkt steht, öffnet der Kolben die Auslaßschlitze, die in die Laufbuchse eingeschnitten sind und in den Auspuffsammelraum führen. Der im Zylinder vorhandene Gasdruck wird rasch auf den Spülluftdruck sinken (Kurve 3 ... 4).

In Punkt 4 öffnet der Kolben die im Zylinder sitzenden Spülschlitze und aus dem Spülluftaufnehmer tritt Spülluft mit einer Spannung von etwa 0,1 ... 0,3 at in den Zylinder ein. Diese Spülluft soll die verbrannten Gase aus dem Zylinder durch die Auspuffschlitze hinausdrängen und ihn mit neuer Verbrennungsluft laden.

Der Vorgang dauert an, bis der nach dem Hubwechsel wieder aufwärtsgehende Kolben in Punkt 5 die Spülschlitze geschlossen hat. In Punkt 6 schließt der Kolben die Auslaßschlitze und verdichtet die Luft auf etwa 30 ... 40 at (Linie 6 ... 1). Das Steuerbild (Kurbelkreis und Wellenform) zeigt, daß der Kolben in Punkt 3 die Auslaßschlitze und in Punkt 4 die Spülschlitze öffnet. In Punkt 5 werden die Spülschlitze und in Punkt 6 die Auslaßschlitze geschlossen. Von Punkt 5 ... 6 tritt also Ladeluft in die Auslaßschlitze zurück und die Verdichtung beginnt im Zylinder erst bei Punkt 6,

d. h. eine beträchtliche Strecke nach dem Hubwechsel. Diese Verluste werden durch Sonderausführungen eingeschränkt, welche später beschrieben werden.

In der Zeit, in der die Kurbel die Strecke 1 ... 2 durchläuft, wird das Treiböl eingespritzt.

Bei diesem Arbeitsverfahren wird in je 2 Takten ein Arbeitshub geleistet. Es erfolgt also bei jeder Umdrehung der Kurbelwelle ein Krafthub des Kolbens gegen einen solchen bei zwei Umdrehungen des Viertaktmotors.

Die beiden Pumpenhübe des Viertaktmotors, das Ansaugen der Luft und das Ausschieben der Verbrennungsgase sind durch den Lade- und Spülvorgang ersetzt und an den Anfang des ersten und an das Ende des zweiten Taktes gelegt worden.

Da in dem Zylinder eines Zweitaktmotors doppelt so viele Verbrennungen stattfinden wie in dem eines Viertaktmotors, ist bei Zweitaktmotoren die Wärmebeanspruchung der Teile, die den Verbrennungsraum bilden, beträchtlich größer. Besonders der Zylinderdeckel neigt zur Rißbildung durch Wärmespannungen. Die Spülschlitze werden in die Zylinderbuchse eingeschnitten, vom Kolben gesteuert und verbinden den Zylinder mit dem Spülluftaufnehmer. Ihre obere Kante liegt etwas tiefer als die der Auslaßschlitze, damit die verbrannten Gase schon entspannt sind, wenn der Kolben die Spülschlitze öffnet.

3. Vergleich zwischen der Viertakt- und Zweitaktarbeitsweise der Dieselmotoren

Die Dieselmotoren wurden in den letzten Jahren harten Erprobungen unterworfen. Hierbei hat sich gezeigt, daß keinem Arbeitsverfahren die unbedingte Überlegenheit zuzuschreiben ist.

Vorteile des Viertaktverfahrens

a) Die gute Entleerung und Ladung des Zylinders, da hierfür zwei ganze Kolbenhübe zur Verfügung stehen;
b) die verhältnismäßig geringe Wärmebeanspruchung der Zylinderwandungen und Kolben;
c) die gute Schmiermöglichkeit des Kurbeltriebes, da infolge des Arbeitsverfahrens ein Druckwechsel stattfindet;
d) die gute Wirtschaftlichkeit, die sich aus dem geringen Brennstoffverbrauch infolge besserer Spülung und Ladung ergibt.

Nachteile des Viertaktverfahrens

a) Die verhältnismäßig geringe Gleichförmigkeit des Ganges, die zur Anwendung schwerer Schwungräder oder zur Vielzylinderbauart führt;
b) das größere Gewicht pro Leistungseinheit;
c) der höhere Preis des Motors (infolge der vielen Ventile und der zugehörigen Steuereinrichtungen);
d) umfangreiche Instandsetzungsarbeiten durch Einschleifen der Ventile usw.

Damit erscheint der Motor für kleine und mittlere Leistungen, aber auch da, wo die Brennstoffkosten und nicht das Gewicht ausschlaggebend sind, besonders brauchbar.

Der Hauptvorteil des Zweitaktmotors ist der einfache Aufbau, der bei Schlitzspülung ventillos ist und bei Verwendung des Kurbelkastens als Spül- und Ladepumpe zu einem ideal einfachen Motor führt. Bei besonderem Antrieb der Treibölpumpen und der Steuerluft für die Anlaßventile kann auch die Nockenwelle fortfallen (Flottentender „Tsingtau").

Nachteile des Zweitaktverfahrens

a) Die höhere Wärmebeanspruchung der Zylinder- und Kolbenwandungen, die eine Bildung von Rissen begünstigt und leicht ein Festfressen der Kolben hervorrufen kann;
b) die schlechtere Schmierung der Zapfen bei einfachwirkenden Motoren, da infolge des steten Überdruckes über dem Kolben kein Druckwechsel in den Lagern des Triebwerkes stattfindet;
c) es müssen Spülluftpumpen oder Gebläse vorhanden sein, die entweder den Aufbau des Motors verwickelter gestalten oder durch Hilfsmaschinen angetrieben werden müssen, die ihrerseits den Brennstoffverbrauch der Gesamtanlage vergrößern. Der Brennstoffverbrauch liegt also höher;
d) der Spülvorgang bei Zweitaktmotoren hat nicht dieselbe Wirkung betreffs Reinigung und Neuaufladung des Zylinders, da die Spülzeiten außerordentlich gering sind.

Um sich ein Bild von der Schwierigkeit der Spülung und Ladung von Zweitaktmotoren zu machen, muß man die Zeit berücksichtigen, in welcher diese Vorgänge durchgeführt sein müssen.

Beispiel: Ein Zweitaktmotor, der mit 1200 U/min arbeitet, spült und ladet über einen Kurbelwinkel von 60°. Wieviel Zeit stehen für die Arbeitsvorgänge zur Verfügung?

Der Motor macht in 60 s 1200 Umdrehungen.
Der Motor macht in 1 s 20 Umdrehungen.
Für 1 Umdrehung = 360° werden $^1/_{20}$ s
für 60° Spül- und Ladezeit $\frac{1}{6 \cdot 20} = \frac{1}{120}$ s benötigt.

Die Zweitaktmotoren müssen eigentlich das Doppelte eines gleichgroßen Viertaktmotors gleicher Drehzahl leisten. Praktisch erreicht man nur eine 60 ... 70% größere Leistung, weil Spülung und Ladung unvollkommen sind, die Schlitzanordnung zu einem Verlust an wirksamem Hubraum führt und für den Antrieb des Gebläses wieder Leistung abgeht.

DRITTER TEIL

Der Aufbau der Verbrennungskraftmaschinen

A. Grundplatte, Maschinengestell und Zylinder

Der Motor baut sich auf dem Rahmen oder der Grundplatte auf (Abb. 24). In ihm ist die Kurbelwelle gelagert. Der Rahmen muß imstande sein, alle Biegungsbeanspruchungen, die beim Arbeiten des Motors auftreten, aufzunehmen. Je nach dem Verwendungszweck des Motors ist er aus Grau-, Stahl- oder Aluminiumguß gefertigt. Neuerdings verwendet man auch aus Stahlblech geschweißte Gestelle, die nach dem Schweißen, zum Entfernen der durch das Schweißen entstandenen Spannungen, im Glühofen längere Zeit ausgeglüht werden. Im unteren Teil wird der Rahmen geschlossen gebaut und zur Kurbelwanne erweitert. In der Kurbelwanne soll das aus den Lagern austretende Öl gesammelt werden. An der tiefsten Stelle befindet sich ein Saugestutzen der Motorenölpumpe.

Auf den Rahmen wird bei den meisten Motoren ein Zwischenstück aus dem gleichen Werkstoff wie die Grundplatte aufgesetzt, das sehr oft die Nockenwelle für die Ventilbetätigung aufzunehmen hat (Abb. 24). Dieses Zwischenstück ist mit einer Reihe von seitlichen Öffnungen versehen, die durch abnehmbare Deckel geschlossen werden, um eine Untersuchung des Triebwerkes vornehmen zu können.

Die Grundplatte und das Zwischenstück bilden zusammen das vollkommen öldichte Kurbelgehäuse. Die Wellendurchführungen und alle Anschlüsse müssen öldicht ausgeführt werden.

Auf das Zwischenstück werden die Zylinder aufgesetzt. Die Zylinder werden in Einzelausführung oder in Blöcken zu mehreren Zylindern gebaut. Sie sind entweder mit dem Kühlmantel aus einem Stück gegossen, oder die Laufbuchsen aus Gußeisen werden in das Zylindergehäuse eingepreßt (Abb. 25).

Für Flugmotoren stellt man die Zylinder aus hochwertigem Stahl her und schweißt die Kühlmäntel aus dünnem Blech daran fest. Für besondere Zwecke kühlt man die Zylinder durch rasch vorbeistreichende Luft. In diesem Falle erhalten sie Kühlrippen.

Größere Schiffs- und Bootsmotoren werden als Standmotoren mit eingebauten Zylinderbuchsen versehen, die sich am unteren Ende frei verschieben können, wodurch Spannungen, die durch ungleiche Erwärmung der Laufbuchse und des äußeren Zylinders entstehen, zum Ausgleich gebracht werden. Einige Abdichtungen von Zylinderbuchsen zeigt Abb. 38. Obwohl durch die Vereinigung mehrerer Zylinder leicht Rißbildungen eintreten können, bevorzugen einige Firmen diese Anordnung wegen der billigeren Herstellung und weil der Motor in sich steifer wird.

Für die Güte der Verbrennung und für die Wärmeausnutzung im Motor ist die Form des Verbrennungsraumes maßgebend. Die Form des Verbrennungsraumes aber wird durch die Anordnung der Ventile bedingt. Man unterscheidet Zylinder mit hängenden und stehenden Ventilen (Abb. 26a). Sind die Ventile hängend angeordnet und ist kein besonderer Zylinderdeckel vorgesehen, so ergibt sich ein günstiger Verbrennungsraum. Jedoch kann bei dieser Anordnung beim Brechen eines Ventils dieses in den Zylinder fallen und so zu seiner Zerstörung führen. Diese Bauausführung bedingt, daß zur Untersuchung der Ventile der ganze Zylinder ausgebaut werden muß.

Um den Motor beim Abbrechen eines Ventils vor Zerstörung zu schützen, und um die Ventile zugänglich zu machen, ohne daß der ganze Zylinder abgeschraubt werden muß, ordnet man sie in seitlichen Taschen stehend an. Man unterscheidet hier zwei Bauarten. Wenn die Ein- und Auslaßventile einander gegenüberliegen, spricht man von der T Bauart (Abb. 26/2), liegen die Ventile dagegen alle auf einer Seite, so spricht man von der J Bauart (Abb. 26/3). Beide Arten, die eine

Reihe von Vorteilen für sich in Anspruch nehmen können, haben einen zerklüfteten Verbrennungsraum mit großen Kühlflächen, die ungünstig wirken. Die Ventile lassen sich durch Verschraubungen im Kopf ohne weiteres herausnehmen. Diese Bauarten werden nur bei Ottomotoren verwendet.

Bei größeren Motoren ordnet man die Ventile in einem abnehmbaren Zylinderkopf hängend an (Abb. 26/1). Bei Motoren, die ein äußerst geringes Gewicht haben müssen, wird der Zylinderkopf aus Aluminiumguß mit eingegossenen stählernen Ventilsitzen hergestellt.

Einige Formen der Verbrennungsräume für Einspritzdieselmotoren sind schematisch in Abb. 26 b zusammengestellt. Der Schiffsdieselmotor wird bei Viertaktmotoren als Sechszylindermotor und bei Zweitaktbauart mindestens als Dreizylindermotor ausgeführt, da erst dann das Anlassen in jeder Stellung der Kurbelwelle gewährleistet ist. Der schnellaufende Dieselmotor wird in der Regel einfachwirkend mit langem Tauchkolben ohne besondere Geradführung gebaut, während bei langsamlaufenden Motoren in einfach- und doppeltwirkender Ausführung stets ein Kreuzkopf auf einer besonderen Gleitbahn die Geradführung des oberen Treibstangenkopfes übernimmt.

Beim Aufbau des Maschinengestells wird auf eine gute Zugänglichkeit des Triebwerkes, einfachen Ausbau der Kolben und möglichst geringes Gewicht Wert gelegt.

Die meisten Motoren sind Reihenmotoren stehender Bauart. Für besondere Zwecke werden jedoch Motoren gebaut, deren Zylinder V-förmig zueinander versetzt sind oder deren Zylinder einander gegenüber liegen (Boxer-Motoren). Als Flugmotoren finden auch Stern-Motoren Verwendung. Umlaufmotoren, bei denen die Welle feststeht und die Zylinder sich drehen, können nur bei leichteren Flugmotoren mit Luftkühlung verwandt werden, da sonst die umlaufenden Massen zu schwer werden. Bei Flugmotoren findet man auch Motoren mit hängenden Zylindern.

B. Das Triebwerk

Zum Triebwerk eines Motors gehören die Kolben mit Kolbenbolzen, Kolbenstange mit Kreuzkopf, Treibstangen und Kurbelwelle.

1. Kolben

Bei den niedrigen gedrungenen Motoren hoher Drehzahl hat der Kolben gewöhnlich einen doppelten Zweck zu erfüllen. Er soll den Verbrennungsdruck aufnehmen und ihn weiterleiten; für diesen Zweck muß der Kolben möglichst dicht schließen. Er soll jedoch auch für die Geradführung des einen Treibstangenendes sorgen und den Normaldruck auf die Zylinderlauffläche übertragen, da eine besondere Gleitbahn bei den meisten kleineren Motoren fehlt. Also muß er möglichst lang sein, damit die Flächenpressung pro Flächeninhalt ein gewisses Maß nicht überschreitet, weil sonst der Kolben zum Fressen neigt. Die zweite Forderung erschwert das Dichthalten, weil der Kolben einseitig angepreßt und der Zylinder im Betrieb oval ausgearbeitet wird.

Die Kolbenformen weichen stark voneinander ab (Abb. 27). Die Gestalt des Kolbenbodens wird derartig gewählt, daß der Verbrennungsraum eine möglichst günstige Form erhält. Der lange Tauchkolben eines Motors wird gewöhnlich im Innern durch Rippen versteift, die auch für eine gute Verbindung der Kolbenbolzennabe mit dem übrigen Körper Sorge tragen. Die größte Beanspruchung erfährt der Kolben durch die Spannungen, die infolge der ungleichen Erwärmung entstehen. (Siehe Abb. 27 h.)

Der Kolbenboden, der bedeutend stärker erwärmt wird als der übrige Teil, dehnt sich mehr aus als der Mantel. (Siehe Abb. 27 g.) Hierauf ist beim Einpassen Rücksicht zu nehmen. Das Spiel an der Oberkante des Kolbens muß bei Leichtmetallkolben etwa 4,5 Tausendstel des Kolbendurchmessers und bei Graugußkolben 3,5 Tausendstel des Durchmessers betragen. An der Unterkante ist das Spiel geringer und beträgt für Leichtmetallkolben etwa 1,5 Tausendstel und für Graugußkolben 0,9 Tausendstel des Durchmessers. Genaue Werte kann nur die Betriebsvorschrift angeben, da die verschiedenen Legierungen verschiedene Ausdehnungen haben.

Die Kolben werden in den Zylindern durch 3 . . . 6 selbstspannende Ringe gedichtet. Die Ringe durchweg aus zähem weichen Gußeisen hergestellt, werden in Nuten des Kolbens genau eingepaßt und ihre Stöße versetzt zueinander angeordnet. Mitunter werden sie gegen Verdrehen durch Stifte gesichert. Beim Einpassen der Kolbenringe muß auf ihre Ausdehnung bei der starken Erwärmung Rücksicht genommen werden. Ganz besonders gilt dies für die oberen Ringe, die dem Verbrennungsraum am nächsten liegen. Am unteren Kolbenende wird oft ein Ölabstreifring (Abb. 27 b und 37) angeordnet, der verhüten soll, daß Motorenöl in größeren Mengen in den Verbrennungsraum gelangt und dort zu Zündstörungen oder durch den sich bildenden Koks zum Fressen der Kolben, Undichtwerden der Ventile usw. Anlaß gibt.

Als Material für die Kolben verwendet man auch gutes dichtes Gußeisen, bei Hochleistungsmotoren auch Stahl. In neuerer Zeit haben sich Kolben aus Leichtmetall gut bewährt und werden bei kleinen Motoren fast ausschließlich benutzt. Die verschiedensten Aluminiumlegierungen, gegossen oder gepreßt, werden als Kolbenmetall benutzt.

Der Hauptvorteil der Leichtmetallkolben liegt in ihrem geringen Gewicht und in ihrer guten Wärmeleitfähigkeit. Bei hohen Drehzahlen macht sich das große Gewicht der gußeisernen Kolben

dadurch unangenehm bemerkbar, daß hohe Beschleunigungsdrücke auftreten, die besonders die Bolzen und Zapfen im Triebwerk stark beanspruchen. Hierdurch wird der Drehzahlsteigerung, die zur Verminderung des Gewichtes pro Leistungseinheit notwendig ist, frühzeitig Einhalt geboten Bei Verwendung von Leichtmetallkolben kann infolge der geringen Beschleunigungsdrücke, unter Beibehaltung der normalen Abmessungen der Triebwerksteile, die Drehzahl beträchtlich gesteigert und somit das Leistungsgewicht des Motors verringert werden.

Die Wärme wird bei Verwendung der Leichtmetallkolben besser an die Zylinderwandungen und an das Kühlwasser abgegeben. Man ist dadurch in der Lage, das Verdichtungsverhältnis des Motors mit Leichtmetallkolben zu erhöhen. Durch die Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses wird der Wärmewirkungsgrad des Motors verbessert und damit der Brennstoffverbrauch verringert.

Die Leichtmetallkolben werden durch die Wärmeeinwirkung weit mehr ausgedehnt als andere. Sie müssen daher mit einem größeren Spiel eingepaßt werden und neigen in kaltem Zustande und bei geringer Belastung zum Klappern. Infolge des weicheren Metalls schlagen sich die Kolbenbolzen leicht aus. Man gießt darum stählerne Buchsen in den Kolben ein, die zur Aufnahme des Bolzens dienen. Wegen der starken Verschiedenheit der Ausdehnungszahlen des Kolbens und des stählernen Bolzens wird im Gegensatz zum gußeisernen Kolben sehr oft der Kolbenbolzen im Treibstangenkopf starr befestigt und dreh- und verschiebbar in den Buchsen des Kolbens angeordnet.

Um eine gleichmäßige Ausdehnung des Kolbens und Bolzens zu erreichen, werden bei Ottomotoren Stahlscheiben und Streifen (Invar-Streifen) in den Kolben eingegossen.

Es gibt mehrere Arten von Kolbenbolzenpassungen. In Abb. 27e ist der hohle Kolbenbolzen schwimmend in zwei Augen des Kolbenkörpers gelagert und wird durch seitlich eingesetzte Pilze gesichert. Abb. 27f zeigt einen Kolbenbolzen mit Festsitz in der Treibstange. Der Bolzen muß sich, eingefettet, von Hand leicht saugend in den kalten Kolben einführen lassen, im Treibstangenkopf dagegen stramm passen.

Für die Sicherung des Kolbenbolzens hat man früher einseitige Kegelsitze oder einfache Sicherungsschrauben benutzt, doch mußte man die Beobachtung machen, daß bei den Schrauben sich das in Aluminium geschnittene Gewinde im Dauerbetrieb lockerte. Besser sind Pilze aus Messing oder Aluminium, die in die hohlen Enden der Kolbenbolzen eingepaßt werden (Abb. 27e). Weiter verwendet man Seeger-Sicherungsringe aus Stahlblech (Abb. 27a), die genau rund geschliffen und mit Vorspannung eingesetzt werden.

Um das Ausschlagen der gußeisernen Kolbenringe in Leichtmetallkolben zu verhüten, verbreitert man die Auflagefläche im Kolbenkörper. Um ihre Federwirkung jedoch durch die stärkere Bemessung nicht zu beeinträchtigen, führt man sie der Höhe nach entsprechend niedriger aus. Bei den Tauchkolben sind 1 ... 2 Ölabstreifringe vorgesehen, die den Zutritt von Motorenöl zum Verbrennungsraum verhindern sollen. Beim Einsetzen dieser Ringe, die eine gebrochene und eine scharfe Kante haben, ist stets darauf zu achten, daß die gebrochene Kante nach oben steht. Im anderen Fall würde durch die scharfe Kante das Öl erst recht in den Verbrennungsraum geschoben und das Übel verschlimmert werden. Die Anordnung der Ölabstreifringe wird in Abb. 37 gezeigt.

Die Kolben der Dieselmotoren müssen gekühlt werden, sobald das Material nicht mehr in der Lage ist, die Wärme genügend schnell abzuführen. (Ungekühlte Kolben bis $\approx$ 200 PS.)

2. Treibstangen

Die Treibstangen übertragen die wirksamen Kolbenkräfte auf die Kröpfungen der Kurbelwelle. Da die Gefahr des Knickens vorliegt, werden die Querschnitte der Stangen so gewählt, daß gegen diese Beanspruchung große Widerstandsfähigkeit gewährleistet ist. In Abb. 28 sind Ausführungsbeispiele gezeigt. Für schnellaufende leichte Motoren bohrt man die runden Treibstangen hohl oder man erleichtert die Stangen durch Wegfräsen und Ausbohren von Werkstoff an Stellen geringerer Beanspruchung. Für die Ölzufuhr zum Kolbenbolzen benutzt man entweder die Treibstange selbst, oder Spritzöl wird durch eine Auffangvorrichtung zum Kolbenbolzen geleitet.

Als Werkstoff für die Treibstangen wird heute im Motorenbau hochwertiger legierter Stahl benutzt.

Der Stangenkopf wird in der Regel geschlossen gehalten und mit einer Bronzebuchse zur Lagerung des Kolbenbolzens versehen. Man verzichtet dann auf eine Nachstellbarkeit dieser Lagerung.

Der Treibstangenfuß wird meist zweiteilig gebaut und dient zur Aufnahme der Kurbellager. Das Kurbellager wird aus Bronze oder Stahl mit Weißmetall- oder Bleibronzefutter hergestellt. Die Sicherung der Kurbellagerbolzen erfolgt gewöhnlich durch Einschrauben in eine Schale und Sichern der Muttern durch Splinte oder Sicherungsbleche. Bei schnellaufenden Motoren wird an Stelle des normalen Kurbellagers ein Kugel- oder Rollenlager angewendet. Um ein Verschieben der Lagerschalen zu verhindern, sind die Treibstangenfüße mancher Motoren mit einer Fein-Verzahnung versehen (Abb. 28e).

Bei V Anordnungen der Zylinder ist für jede Kurbel eine Haupttreibstange vorgesehen. An diese greift seitlich oder umschließend eine Nebentreibstange an.

Auch diese Stangen haben Wälzlager. Abb. 28e zeigt zwei Treibstangen eines V Motors, die beide auf eine Kurbel wirken.

Sind Kolbenstangen vorhanden, so werden Kolben und Kolbenstange durch Schrauben verbunden. Die Befestigung des Kolbenbolzens im Kolben geschieht durch Konen, Keile und Sicherungsschrauben. Der Kolben muß um diese Bohrungen zur Aufnahme des Kolbenbolzens herum im Durchmesser ein wenig verringert werden, da er durch Wärmeausdehnungen des Bolzens auseinandergepreßt wird und an diesen Stellen dann zum Fressen neigt.

Die Kolbenstangen werden aus Stahl geschmiedet. Sie werden mit dem Kreuzkopf verbunden. Bei doppeltwirkenden Maschinen werden sie hohl gebohrt und dienen auch zur Zu- und Ableitung des Kühlöles für den Kolben.

Der Kreuzkopf hat den Druck, der infolge des Kurbeltriebes entsteht, durch seinen Gleitschuh auf die wasser- oder luftgekühlte Gleitbahn zu übertragen und für die Geradeführung des oberen Treibstangenendes zu sorgen. Der Gleitschuh wird mit Weißmetall gefüttert, um günstigere Reibungsverhältnisse zu erhalten.

Sind im Treibstangenfuß oder im Kurbellager Paßbleche zum Nachpassen der Lager eingelegt, so ist stets zu beachten, daß durch Veränderung dieser Paßbleche sich auch der Verdichtungsraum ändert. Es muß dann durch Paßbleche zwischen Stangenfuß und Kurbellager ein Ausgleich geschaffen werden.

3. Kurbelwellen

Die Kurbelwellen der Motoren werden meist aus hochwertigem Chromnickelstahl aus einem Stück geschmiedet. Zur Erzielung der notwendigen Gleichförmigkeit des Ganges werden die einzelnen Kurbeln zueinander versetzt. Die Art der Versetzung ergibt sich aus der Zylinderzahl und der Zündfolge der einzelnen Zylinder. Bei V Motoren richtet sich die Kröpfung der Welle nach der in einer Reihe stehenden Zylinderzahl. Beispiele von Kurbelwellenausführungen sind in Abb. 29 gezeigt. Die Kurbelwelle wird in den Kurbelwellenlagern des Rahmens oder der Grundplatte gelagert. Für schnellaufende Motoren verwendet man Kugel- oder Rollenlager.

C. Die Steuerungen der Motoren

Unter der Steuerung eines Motors sind alle die Teile zusammenzufassen, welche die einzelnen Abschnitte eines geschlossenen Arbeitsvorganges regeln. Hierzu gehören also sämtliche Ventile, Ventilhebel und Stangen, Nockenwellen mit Nocken, Nockenwellenantrieb und der Antrieb der Pumpen. Die Ventile werden aus Spezialstahl gefertigt. Es sind Tellerventile, die mit einem Führungsschaft versehen sind. Zur besseren Wärmeabführung werden die Ventilschäfte oft ausgebohrt und mit Salzen gefüllt. Die Ventile werden nach dem Zylinderinnern durch die Ventilbetätigungsorgane geöffnet, durch Federn geschlossen und auf den Sitzen gehalten. Gewöhnlich ist an jedem Zylinder je ein Ventil für den Einlaß und für den Auslaß vorhanden. Der Querschnitt dieser Ventile wird so bemessen, daß eine gewisse Strömungsgeschwindigkeit nicht überschritten wird. Bei sehr schnellaufenden Motoren entstehen dabei Schwierigkeiten, da besonders die Auslaßventilteller bei großen Querschnitten nicht genügend Wärme an die Gehäusewandungen abführen können, zum Glühen kommen und sich verziehen. Man muß in diesen Fällen dann wenigstens für den Auslaß zwei Ventile anordnen. Die durch die Luft gekühlten Einlaßventile sind geringeren Beanspruchungen ausgesetzt. Bei schnellaufenden Hochleistungsmotoren werden häufig auch zwei Einlaßventile vorgesehen, weil der Querschnitt eines Ventils zu groß werden würde.

Je nach Lage der Nockenwelle werden Hebel oder Stoßstangen für die Ventilbetätigung gebraucht. Die Einstellung dieser Betätigungsorgane erfolgt derart, daß bei geschlossenem Ventil eine Hebellose von 0,3 bis 0,4 mm vorhanden ist (Abb. 30).

Gesteuert werden die Ventile durch die Nockenwelle mit ihren Nocken, auf denen die Rollen der Ventilbetätigungsorgane laufen. Die Nockenwelle ist entweder im Zwischenstück oder über den Zylindern gelagert. Mitunter sind auch zwei Nockenwellen angeordnet, von denen die eine die Einlaß- und die andere die Auslaßventile steuert. Da bei den Viertaktmotoren zwei Umdrehungen zur Vollendung eines geschlossenen Arbeitsvorganges notwendig sind, jedes Ventil also nur bei jeder zweiten Umdrehung betätigt wird, darf die Nockenwelle nur mit der halben Umlaufzahl der Kurbelwelle umlaufen. Das Rädergetriebe, das zum Antriebe der Nockenwelle dient, muß also eine Untersetzung von 2 : 1 haben.

Bei einem Viertaktdieselmotor normaler Bauart sind in jedem Zylinderdeckel folgende Ventile vorhanden: Einlaß-, Auslaß-, Treiböl-, Anlaß- und Sicherheitsventil.

Bei Zweitaktmotoren mit Ventilspülung sind statt der Einsauge- und Auslaßventile ein oder mehrere Spülventile vorhanden, während bei Motoren mit Schlitzspülung nur Treiböl, Anlaß- und Sicherheitsventile notwendig sind.

Bei Motoren mittlerer und großer Leistung sitzen die Ventile in besonderen Ventileinsätzen. Die Abdichtung der Einsätze erfolgt metallisch durch eingeschliffene Konen oder durch Kupferringe.

Einlaß- und Auslaßventile (Abb. 31) werden nach innen durch Hebeldruck geöffnet und durch Federn geschlossen. Sie erhalten in vielen Fällen besondere auswechselbare Sitzringe. Die Gehäuse der Auslaßventile und bei schnellaufenden größeren Motoren auch die Kegel, werden durch Wasser gekühlt, da sie sehr hohen Temperaturen ausgesetzt sind. Wenn Kegelkühlung vorgesehen ist, erfolgt die Zu- und Ableitung des Kühlwassers durch bewegliche Metall- oder Gummischläuche.

Das Anlaßventil steuert die zum Anlassen des Motors nötige Druckluft. Es wird gewöhnlich als Tellerventil mit langer Führungsspindel ausgeführt. Die Öffnung des Ventils erfolgt in der Regel durch Hebeldruck, während das Schließen durch eine Ventilfeder herbeigeführt wird. Da der Querschnitt des Ventiltellers ziemlich groß ist und auf ihm der Druck der Anlaßluft ruht, der bestrebt ist, das Ventil zu öffnen, muß die Schlußfeder sehr stark sein, wodurch große Kräfte beim Öffnen nötig werden. Dieses wird durch einen Entlastungskolben vermieden. Dem Kolben überträgt man außerdem die Abdichtung des Ventils nach außen. Die Anlaßventile eines Motors werden wenig benutzt. Sie neigen dazu, sich festzusetzen und unter dem Einfluß ungleichmäßiger Ausdehnung undicht zu werden. Bei der Herstellung des Kegels und seiner Führung ist darauf Rücksicht zu nehmen. In Abb. 31 ist ein Anlaßventil, Bauart MAN, gezeichnet.

Die Menge der Anlaßluft, die für jedes Manöver gebraucht wird, hängt bei ordnungsmäßigem Zustand des Motors ganz allein von der Geschicklichkeit des Bedienenden ab. Da aber die Herstellung der Anlaßluft viel Arbeit verzehrt und bei unsachgemäßer Bedienung der Vorrat frühzeitig aufgebraucht wird, ist man oft bemüht gewesen, selbsttätige Anlaßventile zu schaffen, die beim Einsetzen der Zündungen die Anlaßluft von selbst abschließen.

Das Zylindersicherheitsventil dient dazu, das Triebwerk vor Überlastungen durch zu heftige Zündungen zu schützen. Es ist meist ein einfaches Kegelventil, das durch Federkraft geschlossen und durch den inneren Überdruck geöffnet wird. Die Federspannung läßt sich durch die Federhauben einstellen. Abb. 31 zeigt ein Ausführungsbeispiel der MAN. Die bei zu hohem Überdruck aus dem Zylinder abzuführenden Gase entweichen durch den hohlen Kegel.

Über die Ventilfeder ist allgemein noch folgendes zu sagen. Die Spannungen der Ventilfedern müssen so groß sein, daß die Ventile sicher auf ihren Sitz gezogen werden. Zu große Spannungen haben zu großen Widerstand beim Öffnen und somit leicht Hebelbeschädigungen zur Folge. Schlaff gewordene Anlaßventilfedern schließen das Ventil nicht mehr. Zu stark gespannte Treibölventilfedern rufen bei sonst richtiger Ventileinstellung Spätzünder und zuwenig gespannte Federn Frühzünder hervor. Die Sicherheitsventilfedern müssen derart gespannt sein, daß die Ventile bei einem Überdruck von etwa 60 at abblasen, wenn die Bedienungsvorschriften nicht andere Einstellungen verlangen.

D. Schmierung der Motoren

Die schnellaufenden Motoren werden heute nur noch mit einer Umlaufdruckschmierung gebaut. Eine Zahnradpumpe (Abb. 32) oder Kolbenölpumpe saugt das Motorenöl aus dem Ölsumpf in der Kurbelwanne oder aus dem Verbrauchsbehälter und drückt es durch einen Ölfilter in eine Motorenöldruckleitung, die das Öl zu den Ölstutzen der Kurbelwellenlager führt. Aus diesen Lagern gelangt das Öl durch Bohrungen in den Kurbelwangen zu den hohlen Kurbelzapfen und durch Bohrungen in den Zapfen zu den Kurbellagern (Abb. 33). Von den Kurbellagern kann das Öl durch eine Bohrung in der Treibstange den Kolbenbolzenlagern zugeführt werden. Oft werden die Kolbenbolzenlager nur durch das Schleuderöl geschmiert. In diesem Falle sind die Stangenköpfe ausgespart und mit einer Ölfangeinrichtung versehen. Aus den einzelnen Lagern wird das Öl durch den Öldruck herausgepreßt und fließt der Sammelstelle in der Kurbelwanne wieder zu. Eine Prüfung der Schmierung erfolgt durch Druckmesser in der Druckleitung, durch Preßstempel oder bei Tropfschmierung durch ein Schauglas.

Die Schmierung der Kolben geschieht meist in genügender Weise durch das Spritzöl. Man verhindert durch Ölabstreifringe nach Möglichkeit das Eindringen des Öles in die Verbrennungsräume der Zylinder. Gelangt kein Spritzöl an die Kolben, so werden kleine Rückschlagventile, sogenannte Motorenölanstiche, die ihr Öl von Druckölern erhalten, angeordnet.

Soweit die Nockenwelle und die Ventilstößelführungen im Zwischenstück gelagert sind, werden sie ebenfalls nur durch das umherspritzende Öl geschmiert. Ist die Nockenwelle über den Zylindern gelagert, so wird durch eine besondere Motorenöldruckleitung Öl zur Schmierung der Welle und der Ventilhebelrollen in das Verkleidungsgehäuse geführt. Alle Lager, die außerhalb des Motorengehäuses liegen und weniger beansprucht sind, werden durch einen Boschöler, durch einen Tropföler oder nur von Hand geschmiert. Um vor dem Inbetriebsetzen des Motors allen Lagerstellen schon das nötige Motorenöl zuzuführen, ist eine Hand- oder elektrische Motorenölpumpe vorgesehen, die Öl ansaugt und in die Druckleitung fördern kann.

Bei allen größeren Motorenanlagen sind Motorenölkühler (Abb. 47) eingebaut, in welchen das Motorenöl durch See- oder Frischwasser zurückgekühlt wird. Diese Motorenölkühler liegen meist in

der Saugeleitung des Kühlwassers, um das Eintreten von Wasser in das Motorenöl, das im Betrieb einen höheren Druck hat, zu vermeiden. Trotzdem sind häufig erhebliche Störungen durch das Eintreten von Wasser in das Motorenöl entstanden. Es ist daher nötig, eine dauernde Betriebsüberwachung auf das Vorhandensein von Wasser im Motorenöl durchzuführen. Das Motorenöl muß laufend gefiltert werden, um Unreinigkeiten wie Staub, feine Metallteilchen, Ölkoks, Fasern von Lappen und Wischbaumwolle usw. nicht in den Motor gelangen zu lassen. Man verwendet meist Motorenöldoppelfilter. Ist ein Filter verstopft, so wird durch Stellen der Dreiwegehähne der andere in Betrieb genommen. Als Motorenölfilter finden Filzplatten, Tuchfilter und Siebe Verwendung. Sehr viel werden auch Scheibenfilter (Auto-Clean-Filter, Abb. 34) verwendet. Diese bestehen aus dicht übereinanderliegenden Scheiben, in die dünne Messer greifen. Durch die Spalte zwischen den Scheiben tritt das Motorenöl. Die Unreinigkeiten bleiben vor den Scheiben liegen und können durch einfaches Drehen der Scheiben von den Messern entfernt werden. Bei größeren Ausführungen werden die Messer bewegt, während die Scheiben festgehalten werden. Bei diesen Filtern ist ein Reinigen ohne Umschalten während des Betriebes möglich.

Das Schema eines Motorenölumlaufes zeigt Abb. 35. Von der Motorenölpumpe gelangt das Motorenöl über ein Sicherheits- und Regelventil zum Druckventilkasten. Dann weiter über Motorenölkühler, Motorenölfilter und Druckregelventil zu den einzelnen Schmierstellen. Außerdem wird das Motorenöl als Kühlöl für die Treibölventile und als Steueröl für den Servomotor des Reglers verwendet. Das abfließende Motorenöl wird in der Kurbelwanne aufgefangen und läuft zum Motorenöltank zurück.

Da immer etwas Öl in die Zylinder gelangt und verbrennt und außerdem Öl verdampft und durch Undichtigkeiten verloren geht, muß durch Nachfüllen der Motorenölstand im Kurbelgehäuse oder im Motorenölsammeltank auf der richtigen Höhe gehalten werden. Dieses Nachfüllen kann von Hand aus einem Vorratsbehälter geschehen oder durch eine besondere kleine Pumpe erfolgen.

Die Ölmenge im Kurbelgehäuse ist durch ein Schauglas oder einen Peilstab zu prüfen. Das Kurbelgehäuse darf nur bis zu dem angegebenen Höchststand aufgefüllt werden, da sonst zuviel Motorenöl in die Zylinder gelangt, wodurch die Kolbenringe festbrennen.

Die Schmierfähigkeit des Öles leidet bei längerem Gebrauch. Außerdem gelangen ganz feine Metallteilchen und Ölkoks in das Motorenöl, die auch durch die Filter nicht zurückgehalten werden, und machen das Öl für eine gute Schmierung unbrauchbar. Infolgedessen muß der gesamte Ölvorrat von Zeit zu Zeit erneuert werden. Bei dieser Gelegenheit ist auch die Kurbelwanne gründlich zu säubern.

Der Bosch-Öler (Abb. 36) führt jeder Schmierstelle das Öl zwangsläufig und regelbar zu. Er besteht aus einer senkrecht stehenden Getriebewelle „a" und einer Anzahl Pumpenelementen, welche kreisförmig um die Getriebewelle angeordnet sind. Jedes Pumpenelement besteht aus einem Pumpenkörper mit Sauge- und Druckleitungen, einem Arbeitskolben „b" und einem Steuerkolben „c". Auf der Getriebewelle sind Hubräder (Taumelscheiben) befestigt, welche den Arbeits- und Steuerkolben eine Auf- und Abwärtsbewegung erteilen. Der Radkranz des unteren Hubrades läuft in einer Nute des Steuerkolbens, der bei einer Umdrehung einmal auf- und abwärts bewegt wird. Der Arbeitskolben ist mit einem Kopf versehen, der eine Verstellschraube besitzt. Dieser Kopf läuft auf dem oberen Hubrad. Er kann je nach der Ausführung des Arbeitshubrades ein- oder zweimal auf und nieder bewegt werden.

Die Verstellschraube „d" am Kopfe des Arbeitskolbens ermöglicht die Hubänderung des Arbeitskolbens und damit die Einstellung der geförderten Ölmenge.

Arbeitsweise:

Wird der Arbeitskolben durch die obere Taumelscheibe aufwärts bewegt (Saugehub), so hat der Steuerkolben eine Stellung, in welcher seine Querbohrung die Verbindung zwischen Saugeleitung und Hubraum herstellt. Bei der Abwärtsbewegung des Arbeitskolbens (Druckhub) ist die Öffnung der Saugeleitung durch den Steuerkolben verschlossen, während eine Längsaussparung des Steuerkolbens die Verbindung des Pumpenraumes mit der Rohrleitung zur Schmierstelle herstellt. Der Steuerkolben bewegt sich in den Pausen, welche zwischen Sauge- und Druckhub des Arbeitskolbens liegen.

Sonderausführungen haben doppelte Druckleitungen. Durch Anordnung doppelter Nocken auf der Taumelscheibe wird der Arbeitskolben zweimal auf und nieder bewegt, so daß durch besondere Aussparungen des Steuerkolbens das Öl abwechselnd in zwei Leitungen gedrückt wird. Ebenso sind Tropfenanzeiger angebracht, die eine Prüfung der Schmierstelle ermöglichen. Durch eine Handkurbel auf dem Öler können vor dem Ingangsetzen des Motors oder bei stärkerer Beanspruchung die Ölleitungen aufgefüllt bzw. stärker beschickt werden.

Die bei den Marinemotoren verwendeten Ivo-Öler (Abb. 39) arbeiten ebenfalls wie die Bosch-Öler.

Die in Abb. 32 gezeigte Zahnradmotorenölpumpe arbeitet durch ihre selbsttätigen Klappen für beide Drehrichtungen.

E. Kühlung der Motoren

Bei der Verbrennung treten im Zylinder eines Motors sehr hohe Temperaturen auf, denen der Werkstoff des Zylinders, Zylinderkopfes, Kolbens und der Ventile auf die Dauer nicht standzuhalten vermögen. Die Teile müssen daher gekühlt werden. Die Kühlung entzieht dem Motor einen beträchtlichen Teil der Wärme, die bei der Verbrennung erzeugt wird, und vermindert damit den Wirkungsgrad. Sie muß also so bemessen sein, daß der Werkstoff geschützt und der Dauerbetrieb des Motors ermöglicht wird, jedoch die Wärmeabfuhr nicht unnötig groß ausfällt. Am einfachsten prüft man die Kühlung durch Messung der Temperatur des abfließenden Kühlwassers. Diese soll bei den verschiedenen Motoren je nach der Bauart 40 ... 80° C betragen.

1. Die Durchflußkühlung

Bei Boots- und Schiffsmotoren wird das Kühlwasser in der Regel über einen Siebtopf von außenbords durch Kolben-, Schleuder- oder Zahnradpumpen angesaugt und in eine Kühlrohrleitung gedrückt. Von da wird das Kühlwasser den Zylindermänteln an der tiefsten Stelle zugeleitet, kühlt diese und tritt dann zur Kühlung in die Köpfe ein. Dann fließt das Kühlwasser meist in einer Sammelleitung dem Auspuffrohr und dem Auspufftopf zur Kühlung zu und wird über einen Schautrichter nach außenbords abgeleitet.

Bei allen kleineren Bootsmotoren sieht man von einer besonderen Kühlung der Ventile und der Kolben ab, da diese Teile durch Wärmeabgabe an die gekühlten Zylinderwandungen auf Temperaturen gehalten werden können, die einen Dauerbetrieb nicht in Frage stellen.

In den Kühlräumen der Motoren lagern sich besonders bei Seewasserkühlung mineralische Bestandteile als Kesselstein ab. Die Kühlräume müssen darum von Zeit zu Zeit eine gründliche Reinigung erfahren, am einfachsten durch Aussäuern mit Salzsäure, um die Kühlwirkung nicht zu unterbinden. In der Regel werden die Kernstutzen des Kühlmantels durch Verschraubungen geschlossen, die zu Reinigungszwecken herausgenommen werden können.

2. Die Umlaufkühlung

Bei Automobil-, Flugzeug- und Luftschiffmotoren und bei sehr hochwertigen Motoren wird meistens die Umlaufkühlung angewendet. Das umlaufende Kühlwasser, Leitungs- oder destilliertes Wasser, wird nach dem Gebrauch immer wieder zurückgekühlt, so daß man mit einer beschränkten Menge auszukommen vermag. Die Bewegung des Wassers erfolgt meist durch eine Kreiselpumpe.

Die Rückkühlung erfolgt in besonderen Luftkühlern durch den Fahrtwind oder durch Lüfter, bei Booten in Röhrenkühlern durch Wasser von außenbords.

3. Die Luftkühlung

Flugmotoren und die Motoren der Krafträder baut man so, daß ihre Zylinder dem starken Fahrtwind ausgesetzt werden und dadurch die notwendige Kühlung erfahren. Man unterstützt sie durch Anordnung von vielen Rippen am Umfang und Kopf der Zylinder.

4. Die Kühlung des Dieselmotors

Die den hohen Verbrennungstemperaturen ausgesetzten Bauteile des Dieselmotors müssen gekühlt werden, um sie vor Zerstörung zu schützen.

Zu kühlen sind:

a) die Arbeitszylinder und Zylinderdeckel;
b) die Auspuffventilgehäuse;
c) die Kolben, sobald bei größerem Zylinderdurchmesser oder größerer Drehzahl die Kühlwirkung der Zylinderbuchse auf den Kolben nicht mehr ausreicht;
d) die Kolbenstangen und die Stopfbuchsen doppeltwirkender Motoren;
e) die Luftverdichter;
f) das umlaufende Motorenöl.

Zur Kühlung wird bei Schiffsdieselmotoren Seewasser als Durchflußkühlung oder Süßwasser als Umlaufkühlung benutzt.

Als Kolbenkühlung wird Wasser nur noch selten verwendet. Die gebräuchliche Kolbenkühlung ist heute die Ölkühlung. Die bei dieser Ölkolbenkühlung in den Gelenken auftretenden Undichtigkeiten bilden keine Gefahr für die Gesamtschmierung des Motors, da sich Öl mit Öl vermischt.

Abb. 40 zeigt schematisch die Kühlwasserführung mit Seewasserkühlung. Die Kühlwasserpumpe saugt das Kühlwasser durch ein Bodenventil und einen Siebtopf an und drückt es in die Hauptleitung. Die gesamte Kühlwassermenge durchfließt zunächst den Motorenölkühler (Abb. 47) und kühlt das Motoren- und Kolbenkühlöl. Ist das Öl noch zu kalt, so kann der Kühler durch ein Umgehungsventil umgangen werden. Dann teilt man den Kühlwasserstrom und führt ihn an die einzelnen Kühl-

stellen. An der tiefsten Stelle der Zylinderkühlmäntel wird das Wasser eingeleitet, tritt an der höchsten Stelle aus und zu den Deckeln über, kühlt die Deckel und tritt dann in den Kühlmantel des Auspuffsammlers, von wo es abfließt. In die Abflußleitungen der Zylinderdeckel sind Drosselhähne oder -ventile eingebaut, um die Kühlwassermengen der einzelnen Zylinder und damit auch die Abflußtemperaturen regeln zu können. In jede Abflußleitung wird zur Prüfung der Temperatur ein Thermometer eingebaut.

Ein Regel- oder Sicherheitsventil gestattet, den Druck unabhängig von der Drehzahl halten zu können. Es ist zwischen Druck- und Saugeleitung eingebaut. Wird dieses Ventil geöffnet, so tritt aus der Druckleitung Wasser in die Saugeleitung zurück, und die Fördermenge wie auch der Förderdruck sinken. Ein Regelhahn gibt die Möglichkeit, auch warmes Kühlwasser wieder anzusaugen. Bei Einbau eines Samson-Reglers wird die Zuführung von warmem Kühlwasser in die Saugeleitung selbsttätig geregelt.

Abb. 41 zeigt schematisch die Kolbenkühlung eines schnellaufenden Viertaktmotors mit Motorenöl als Kühlmittel. Eine Motorenölpumpe saugt über einen Saugeventilkasten aus dem Betriebstank das Motorenöl an und drückt es über einen Druckventilkasten in den Motorenölkühler (Abb. 47), dessen Rohre vom Kühlwasser durchflossen werden. Da der Öldruck im Kühler stets höher ist als der Kühlwasserdruck, kann bei Undichtigkeiten im Kühler wohl Öl in das Kühlwasser, nicht aber Kühlwasser in das Öl gelangen. Im Motorenölkühler teilt sich der Ölstrom. Ein Teil des Öles wird der Kolbenkühlung, der andere der Lagerschmierung zugeführt. Für die Kolbenkühlung soll das Öl dünnflüssiger und wärmer sein als für die Lagerschmierung. Um nun das benutzte Motorenöl sowohl für die Kolbenkühlung als für die Lagerschmierung brauchbar zu machen, entnimmt man das Kühlöl mitunter schon, bevor es den ganzen Kühler durchlaufen hat. Bei einigen Anlagen wird auch nur das Motorenöl gekühlt. Das Kühlöl bleibt dadurch wärmer und dünnflüssiger. Das Öl, welches als Lagerschmieröl gebraucht werden soll, durchfließt den ganzen Kühler, wird also kälter und damit zähflüssiger. Das Kolbenkühlöl wird aus der Druckleitung, die am Maschinengestell entlangläuft, durch Abzweigrohre den Kolbenzuführungsgelenkrohren (Abb. 44) zugeleitet. Es gelangt in den Kolbenkühlraum, kühlt den Kolbenboden und wird durch das Abführungsgelenk in eine Ablaufleitung geführt. Das ablaufende Kühlöl jedes Kolbens wird gesondert in einen Sammeltrichter geleitet, an dem der abfließende Ölstrom jedes Kolbens beobachtet werden kann. Zur Prüfung der Ablauftemperatur sitzt in jedem Ablaufrohr ein Thermometer. Von dem Ablauftrichter aus wird das Öl in den Sammeltank und von da aus durch die Pumpe erneut in den Kreislauf geführt.

F. Motorzubehör

1. Brennstoffbunker und Brennstofförderung

Der Brennstoff wird in festeingebauten Bunkern untergebracht. Die Bunker erhalten Füll- und Entleerungseinrichtungen und Vorrichtungen zur Feststellung der Brennstoffmenge, bei Treiböl auch Heizschlangen.

Die Förderung des Brennstoffes kann durch natürliches Gefälle, durch Über- und Unterdruckförderer und durch Brennstofförderpumpen geschehen.

Bei den meisten Motorenanlagen sind Tagesverbrauchsbunker vorhanden, die aus den Vorratsbunkern aufgefüllt werden und höher als die Saugeräume der Treibölpumpen liegen. Das Treiböl fließt also den Pumpen mit natürlichem Gefälle zu.

Als Treibölförderpumpe verwendet man Hand-, Kreisel-, Membran- und Kolbenpumpen. Die Ausführung einer Membranpumpe ist in Abb. 46 dargestellt. Abb. 45 zeigt das Schema einer Treibölleitung. Vom Bunker aus wird das Treiböl durch eine Zubringerpumpe über den Treibölreiniger (Abb. 48) in die Leitung nach den Treibölpumpen gedrückt. Das zuviel geförderte Treiböl läuft über eine Überströmleitung zurück. Durch Windkessel wird der Förderdruck gleichmäßig gehalten.

Bei Motorschiffen können 80% des Treibölvorrates in Bunkern des Doppelbodens untergebracht werden; 20% müssen in eingebauten Behältern lagern. Die Entlüftung der Behälter muß nach Oberdeck geführt werden.

2. Auspufftöpfe, Schalldämpfer

Die Abgase der Motoren werden in ein Abgassammelrohr geführt und zum Auspuff geleitet. Da sie den Zylinder mit 1 ... 2 at verlassen, entspannen sie sich erst in diesen Leitungen auf den atmosphärischen Druck und erlangen dabei eine hohe Geschwindigkeit. Diese hohe Ausströmgeschwindigkeit der Abgase ist die Ursache der störenden Auspuffgeräusche. Um sie zu vermeiden, werden in die Auspuffleitungen der Motoren Auspufftöpfe eingeschaltet, die als Schalldämpfer wirken. Man gibt den Auspufftöpfen einen Querschnitt, der gegenüber dem der Auspuffleitung groß zu nennen ist, und erreicht damit die Ausdehnung der Auspuffgase auf den atmosphärischen Druck schon vor der Mündung der Auspuffleitung. Die Geschwindigkeitsenergie wird im Schalldämpfer durch Wirbelung aufgezehrt. Zu dem Zweck werden gelochte Bleche oder geschlitzte Rohre in den Auspufftopf eingesetzt, oder es wird

den Gasen ein langer, gewundener Weg in dem Topf vorgeschrieben (Abb. 49). Unterstützt wird die Energievernichtung durch die Kühlung des Auspufftopfes, wodurch der Rauminhalt der Auspuffgase erheblich vermindert wird.

3. Anlaßeinrichtungen

Einer Dampfmaschine wird die Wärmeenergie in einem hochgespannten fertigen Treibmittel, dem Wasserdampf, zugeführt. Die Maschine kann daher ohne weiteres anspringen, wenn der Dampf in den Zylinder strömt. Bei den Verbrennungskraftmaschinen wird die Wärmeenergie erst durch Verbrennung im Zylinder erzeugt, und das Arbeitsverfahren fordert von der Maschine kraftverzehrende Hübe (Ansaugen, Verdichten) zur Einleitung dieser Verbrennung, ehe überhaupt krafterzeugende Hübe entstehen können. Jeder Motor muß also immer erst durch eine besondere Einrichtung in Bewegung gesetzt werden. Die Anlaßeinrichtungen können sehr verschieden gestaltet sein.

Die einfachste Art, einen Motor in Bewegung zu setzen, ist das Andrehen von Hand. Bei kleineren Motoren kann man eine Kurbel auf ein freies Wellenende setzen, oder, wo die baulichen Anordnungen dies nicht zulassen, kann das Andrehen durch eine Kurbel unter Zwischenschaltung einer endlosen Kette und zweier Kettenräder vor sich gehen. Um das Andrehen zu erleichtern, sieht man bei größeren Motoren Vorauslaßvorrichtungen vor. Gewöhnlich sind dies kleine Hilfsnocken, welche durch Verschiebung eines Nockenbündels auf der Nockenwelle beim Andrehen zur Wirkung kommen und die Aufgabe haben, das Auslaßventil beim Verdichtungshube eine kurze Zeit zu öffnen. Dadurch wird der Verdichtungsdruck vermindert und zum Drehen des Motors weniger Kraft erfordert. Beim Normalbetrieb wird das Nockenbündel in seine Betriebsstellung gebracht, und die Hilfsnocken werden außer Tätigkeit gesetzt.

Dieses Verfahren ist heute am weitesten verbreitet, soweit es sich um kleinere und mittlere Leistungen handelt. Bei modernen Anlagen, wo für Beleuchtungszwecke ein Stromspeicher vorhanden ist, der im Betriebe durch eine Lichtmaschine aufgeladen wird, überträgt man vielfach einen kleinen Elektromotor das Andrehen. In diesem Falle erhält das Schwungrad eine Verzahnung, in die das Ritzel des Elektromotors während des Anwerfens eingreift.

Der Bosch-Anlasser (Abb. 50) wird in verschiedenen Ausführungen hergestellt, die sich hauptsächlich durch die Art des Aus- und Einspurens des auf der Ankerwelle sitzenden Ritzels unterscheiden.

Der Anlasser besteht aus folgenden Hauptteilen: Gehäuse, Hauptstromwicklung, Hilfswicklung, Polschuh, Anker, Ankerwelle mit Ritzel, Feder, Kollektor, Magnetschalter, Sperrklinke, den Anschlußklemmen und Bürsten.

W i r k u n g s w e i s e: Der Anlasser wird durch Niederdrücken des Druckknopfes eingeschaltet, wodurch der in zwei Stufen arbeitende Magnetschalter des Anlassers in Tätigkeit tritt. Der Anker ist im Ruhezustand durch eine Feder (a) etwas aus seinem Feld herausgezogen. Er wird auf der ersten Stufe bei noch nicht vollem Strom durch den zwischen Feld und Anker wirksamen elektromagnetischen Zug ins Feld hineingezogen und zugleich langsam gedreht. Dadurch spurt das federnd gelagerte Ritzel weich in die Schwungradverzahnung ein. Der Stromfluß kommt also nur im Hilfsfeld zustande, da die Leitung der Hauptstromwicklung durch den Magnetschalter unterbrochen ist.

Durch die Vorwärtsbewegung des Ankers wird die Sperrklinke durch die Scheibe (b) hochgedrückt und gibt den Magnetschalter frei. Dieser wird von der Spule angezogen und trifft auf die Kontakte (f). Dadurch ist der Stromkreis der Hauptstromwicklung geschlossen, und der Anlasser ist jetzt erst imstande, den Motor auf die entsprechende Drehzahl zu bringen. Erfolgen nun die Zündungen und der Motor beginnt selbständig zu arbeiten, dann wird durch die hohen Umdrehungen des Motors das Magnetfeld im Hauptstromkreis aufgehoben. Die Anziehungskraft der Hauptstromwicklung hört auf und das Ritzel wird durch den Druck der Feder zurückgezogen. Durch die Scheibe (b) legt sich die Sperrklinke hinter den Ansatz des Magnetschalters und drückt diesen ebenfalls zurück. Solange nun der Druckknopf betätigt wird, arbeitet der Anlasser nur mit dem Hilfsfeld. Das Ritzel kann nicht in Eingriff gebracht werden, da der Anker federnd aufgehängt ist und das Ritzel selbst federt. Der laufende Motor wird das Ritzel immer wieder zurückschleudern und somit können keine Beschädigungen auftreten. Das mehrmalige Anlassen hintereinander ist zu unterlassen. Es hat stets vor jedem erneuten Anlassen der Anker erst seine Ruhestellung wieder einzunehmen.

Eine gesetzliche Vorschrift verlangt, daß alle Handandrehvorrichtungen so gebaut sein müssen, daß sie beim Anspringen des Motors selbsttätig außer Eingriff kommen, um eine Schädigung des Bedienungspersonals zu verhüten. Die Zündmomentverstellung muß beim Andrehen des Motors stets auf S p ä t z ü n d u n g gestellt werden, um ein Zurückschlagen unmöglich zu machen.

Bei größeren Motoren benutzt man Druckluft oder verdichtete Abgase für das Anlassen. Im ersteren Falle erzeugt ein kleiner Verdichter die Druckluft, die in besonderen Stahlflaschen aufgespeichert wird. Von den Flaschen aus führt eine Anlaßluftleitung zu den Anlaßventilen in den Zylinderdeckeln. Die Anlaßventile werden durch die Drehung einer Ventilhebelwelle geöffnet. Bei normalem Betrieb sind sie außer Tätigkeit. Um die Verteuerung der Anlage durch die Beschaffung und Unterhaltung eines Verdichters zu vermeiden, füllt man bei einigen Motorenbauarten die Anlaßflaschen mit Abgasen von 28 . . . 30 at Druck. Ein Arbeitszylinder wird im Brennraum angezapft und durch ein Rückschlagventil nach der Flasche hin gesichert. Meist wird ein Sicherheitsventil hierfür eingerichtet, welches durch Hebeldruck entlastet werden kann (Abb. 78).

G. Umsteuerungseinrichtungen

Die unmittelbare Umsteuerung eines Motors ist durchaus möglich. Sie wird jedoch nur bei größeren Motoren angewendet. Da die direkte Umsteuerung natürlich nur gebraucht werden kann, wenn das Anlassen des Motors schnell und sicher erfolgt, so müssen diese Motoren eine Druckluftanlage mit Verdichter und Luftflaschen erhalten. Bei kleineren Bootsmotoren verzichtet man auf die direkte Umsteuerung und ändert nur die Drehrichtung der Schraubenwelle, während der Motor stets seinen Drehsinn beibehält. Für diesen Zweck werden Wendegetriebe benutzt, die in Verbindung mit einer Kupplung arbeiten. Allen diesen Getrieben liegt ein einfacher Gedanke zugrunde. In Abb. 51 ist ein Wendegetriebe dargestellt. Das Getriebegehäuse enthält vier gleichgroße Kegelräder. Rad a ist mit der Motorwelle und Rad b mit der Schraubenwelle verbunden und gegen Drehung auf diesen Wellen gesichert, während die Räder c und d auf Zapfen drehbar angeordnet werden; die Zapfen sind mit dem Gehäuse fest verbunden. Verbindet man das Getriebegehäuse durch eine Kupplung starr mit der Motorwelle, so wird dies die Drehung der Welle mitmachen, die Räder kommen nicht zur Wirkung und die Schraubenwelle läuft in gleicher Richtung und mit gleicher Drehzahl wie die Motorenwelle um. Dies entspricht dem Vorwärtsgang der Schraube (Abb. 51 a). Löst man dagegen die Kupplung zwischen Motorwelle und Getriebegehäuse und hält das Getriebegehäuse fest, so daß es sich nicht drehen kann, dann wird die Drehrichtung der Motorwelle durch die Räder c und d umgekehrt, ohne daß die Drehzahl geändert wird, und die Schraube läuft rückwärts (Abb. 51 b). Läßt man dagegen das Getriebegehäuse frei beweglich umlaufen, so wird die Schraubenwelle durch den Widerstand der Schraube festgehalten, die Räder c und d wälzen sich auf dem Rade b ab, und das Getriebegehäuse läuft mit der halben Drehzahl der Motorwelle um (Abb. 51 c). Das Boot stoppt, während der Motor in Betrieb bleibt und nur gedrosselt werden muß.

Alle Umsteuerungseinrichtungen, die ein Wendegetriebe benutzen, beruhen auf diesem Prinzip und unterscheiden sich nur durch die bauliche Gestaltung und durch die Art der Kupplungseinrichtung. Im folgenden sollen einige Ausführungen erklärt werden.

Die Doppelkonusumsteuerung

Die Doppelkonusumsteuerung mit Wendegetriebe wird für kleinere und mittlere Motorenleistungen außerordentlich viel verwendet. Ihr Aufbau geht aus der Abb. 52 hervor.

Das Schwungrad, das auf der Motorwelle aufgekeilt ist, besitzt einen Ansatz mit Innenverzahnung. In diese Verzahnung greift ein Mitnehmer ein, der mit dem Kegelrade a des Wendegetriebes verbunden ist. Der Mitnehmer ist verschiebbar auf der Welle gelagert und gegen Drehung gesichert. Das Rad b ist auf der Schraubenwelle aufgekeilt, und die Welle selbst ist durch das Getriebe hindurchgeführt und findet ihre letzte Lagerung in einer Bohrung der Motorenwelle. Die Räder c und d des Wendegetriebes sind auf einer Kreuzwelle, die im Gehäuse befestigt ist, drehbar gelagert. Mit dem Gehäuse ist der Doppelkonus aus Steinholz oder Gußeisen mit Lederbelag starr verbunden. Ein Bremsring ist auf dem Motorenfundament befestigt. In eine Ausdrehung des Gehäuses ist ein Druckring eingesetzt, der durch einen Handhebel bewegt werden kann. Das Gehäuse des Wendegetriebes ist öldicht gebaut.

Die Wirkungsweise ist folgende: Wird der Handhebel in die Stellung „Voraus" gelegt, so schiebt der Druckring das Getriebegehäuse mit dem Doppelkonus nach vorn, so daß zwischen Konus und Schwungrad eine starre Verbindung hergestellt wird. Die Motor- und die Schraubenwellen sind jetzt starr verbunden, und die Schraube läuft mit der gleichen Drehzahl und Drehrichtung der Motorwelle um.

Wird der Handhebel dagegen in die Stellung „Zurück" gelegt, so wird der Doppelkonus im Bremsring festgehalten. Damit steht das Getriebegehäuse fest, und durch die Räder wird die Drehrichtung der Schraubenwelle geändert, ohne daß die Drehzahl beeinflußt wird.

In der Mittelstellung des Handhebels steht auch der Doppelkonus in der Mittelstellung (gezeichnete Stellung). Die Schraube wird durch den Widerstand festgehalten, die Räder c und d wälzen sich auf dem Rade b ab und das Gehäuse läuft mit der halben Drehzahl der Motorwelle um.

Die Wartung des Wendegetriebes erstreckt sich hauptsächlich auf die Schmierung der Räder und des Druckringes. Das Getriebegehäuse wird mit einer Mischung von Motorenöl und Fett oder mit dickflüssigem Öl bis zur Hälfte gefüllt. Der Doppelkonus ist frei von Fett und Öl zu halten, damit er nicht gleitet.

Das Nixe-Getriebe (Abb. 53)

Das Nixe-Getriebe ist ein Bootswendegetriebe, das sich nur für kleinere Leistungen eignet.

Hauptteile:

1. Gehäuse mit Bremsband und Kupplungsgestänge,
2. Motorwelle mit Planetengetriebe und Zahnräder,
3. Schraubenwelle mit Zahnkranz, Kupplungsbacken und Schildzapfen,
4. Kupplungsscheibe mit Zahnkranz,
5. Kupplungsgestänge mit konischer Muffe.

Aufbau:

Auf der Motorwelle A sitzt fest das Planetengetriebe B mit den Zahnrädern a und b, die sich auf Bolzen drehen können. Die beiden Räder a greifen in das Zahnrad c, das fest auf der Scheibenwelle sitzt. Die beiden Räder b greifen in den Zahnkranz d, der fest auf der Kupplungsscheibe D sitzt. Die Kupplungsscheibe D ist drehbar auf der Schraubenwelle C gelagert und wird vom Bremsband H umfaßt. Die beiden Schildzapfen F, die fest auf der Schraubenwelle sitzen, tragen die Kupplungsbacken E, die über Hebel von der konischen Muffe G gegen die Innenseite der Kupplungsscheibe gepreßt werden können. Das Kupplungsgestänge J kann durch einen Hebel betätigt werden. Dadurch wird die konische Muffe verschoben und gleichzeitig das Bremsband betätigt.

Wirkungsweise:

„Voraus": Der Hebel liegt auf „Voraus". Dadurch wird die konische Muffe G nach innen geschoben, über die beiden Kupplungshebel werden die Backen E fest gegen die Kupplungsscheibe D gedrückt. Das Bremsband H wird gelöst. Motorwelle A und Planetengetriebe B drehen sich. Die Zahnräder a und b, die aus einem Stück sind, können sich infolge der verschiedenen Zähnezahlen nicht auf c und d abwälzen, sondern nehmen die Kupplungsscheibe D mit. Diese dreht sich also mit der gleichen Drehzahl und der gleichen Richtung der Motorwelle A. Da nun die Kupplungsbacken E fest an die Scheibe D gepreßt sind, müssen auch die Schildzapfen F mitlaufen, und damit dreht sich die Schraubenwelle C mit der gleichen Drehzahl „Voraus".

„Stopp": Der Hebel liegt auf „Stopp". Die Kupplungsbacken sind gelöst, ebenfalls das Bremsband. Durch den Wasserwiderstand bleibt die Schraubenwelle C stehen. Das Planetengetriebe B wälzt sich mit dem Rade a im Zahnrad c ab. Das Rad b nimmt den Zahnkranz d und damit die Kupplungsscheibe D mit. Die Kupplungsbacken E sind gelöst, also bleibt die Schraube stehen.

„Zurück": Der Hebel liegt auf „Zurück". Die Kupplungsbacken E sind gelöst, das Bremsband H angezogen. Die Kupplungsscheibe D steht fest, damit auch der Zahnkranz d. Das Planetengetriebe B wird von der Motorwelle A weitergedreht. Das Zahnrad b wälzt sich im feststehenden Zahnkranz d ab und dreht dabei das Rad a mit, das nun das Rad c und damit auch die Schraubenwelle C in entgegengesetzter Richtung dreht. Durch die verschiedenen Zähnezahlen läuft aber die Schraube nur mit 75% der „Voraus"-Drehzahlen auf „Zurück".

Wartung:

Das Gehäuse muß bis zur Hälfte mit Fett oder einer Mischung aus Fett und Motorenöl oder mit Getriebeöl gefüllt sein. Die Lager sind von Zeit zu Zeit abzuschmieren.

Wird das Gehäuse bei „Voraus" warm, dann schleifen die Kupplungsbacken in der Scheibe. Die Stellschrauben der Kupplungshebel sind gleichmäßig anzuziehen.

Wird das Gehäuse bei „Zurück" warm, dann schleift das Bremsband. Es muß nachgespannt werden durch Anziehen der Mutter K.

Das Hanseatengetriebe (Abb. 54)

1. Beschreibung:

Das H.M.G.-Wendegetriebe besteht aus Rädergehäuse a, Bremsband b, Kupplung c, Druckwelle d und Drucklager e. Aus dem Rädergehäuse ragt vorne ein Wellenende heraus, das für die Aufnahme der Scheibenkupplung f zur Verbindung mit dem Motor dient. Auf der Drucklagerseite ist eine Scheibenkupplung g zur Verbindung mit der Schraubenwelle. Das Rädergetriebe besteht aus Kegelrädern und ist im Rädergehäuse untergebracht. Am hinteren Ende des Rädergehäuses befindet sich die nachstellbare Lamellenkupplung c. Als Rückwärtsbremse dient das um das Rädergehäuse liegende Bremsband. Die Betätigung der Kupplung und der Rückwärtsbremse geschieht mit einem Handhebel. Der Festpunkt des Handhebels liegt im Rahmen.

2. Wirkungsweise:

a) Vorwärtsgang: Der Handhebel wird nach vorn gelegt. Hierbei werden durch das Verschieben des Spannkonusses h die Spannhebel i der Kupplung eingerückt. Die Wellenleitung ist jetzt mit dem Gehäuse gekuppelt, die Zahnräder sind untereinander verblockt. Die Wellenleitung läuft also mit derselben Drehzahl und mit derselben Drehrichtung wie die Motorwelle. Das Bremsband ist beim Vorwärtsgang gelöst.

b) Stoppstellung: Der Handhebel wird in seine Mittellage gebracht. Dadurch wird die Kupplung ausgekuppelt, das Bremsband bleibt wie vorher noch gelöst. Die Zahnräder wälzen sich aufeinander ab und auf die Schraubenwelle wird ein Drehmoment nicht ausgeübt. Sie steht still.

c) Rückwärtsgang: Der Handhebel wird nach hinten gelegt. Die Kupplung bleibt dabei gelöst. Die Schaltvorrichtung steht aber außer mit dem Spannkonus noch durch eine Zugstange über sogenannte Sperrhebel k mit dem Bremsband in Verbindung. Das Bremsband umschließt das Rädergehäuse. Beim Rückwärtsschalten wird das Bremsband um das Gehäuse gepreßt, und durch

die auftretende Reibung wird das Rädergehäuse festgehalten. Durch die Kegelräder wird die Drehrichtung der Druckwelle gegenüber der Motorwelle verändert, die Schraube wirkt rückwärts. Die Drehzahl ist die gleiche wie die der Motorwelle.

W a r t u n g : Die auf der Motorseite am Gehäusedeckel rot bezeichnete Füllschraube ist herauszuschrauben und das Rädergehäuse zu 1/2 mit dickflüssigem, jedoch nicht übermäßig dickflüssigem Motorenöl zu füllen.

N a c h s t e l l e n d e r K u p p l u n g : Die Schraube an der Stellmutter ist zu lösen und die Stellmutter 1/8 ... 1/6 Umdrehung weiter gegen das Gehäuse zu drehen.

N a c h s t e l l e n d e r B r e m s e : Macht das Rädergehäuse bei Rückwärtsfahrt mehr als 3 ... 5 Umdrehungen in der Minute, so ist das Bremsband nachzustellen, indem die Kronenmuttern am Sperrhebel etwas angezogen und wieder durch Splinte gesichert werden.

Das Kärger-Bootswendegetriebe (Abb. 55)

A. Aufbau:

Das Bootswendegetriebe besteht aus folgenden Hauptteilen:

1. Wechselkupplung,
2. Kegelradübertragung,
3. Gehäuse.

Im Getriebe wirkt in bekannter Weise ein Kegelradsatz f. Der Vorwärts- und Rückwärtsgang wird im Gegensatz zu anderen Anordnungen mit Bandbremsen hier durch eine einfache Wechselkupplung a eingeschaltet. Sind die Bremshebel k der Wechselkupplung auf die Bremsscheibe d der Antriebswelle e geschaltet, dann tritt eine umlaufende Verklammerung der Kegelräder ein und sämtliche Teile sind fest verkuppelt und laufen im Vorwärtsgang. Sind die Bremshebel g auf die Bremsscheibe h am festen Gehäuse c geschaltet, dann wird der Bremshebelträger am Gehäuse festgehalten und die Kegelräder können sich aufeinander abwälzen. Dadurch wird die Umkehrung der Drehrichtung für Rückwärtsgang erreicht. Das Einrücken in den Vorwärts- bzw. Rückwärtsgang wird durch Verrollen von endlosen Schraubenfedern i erreicht, die durch eine vorher einstellbare Vorspannung eine Schnürwirkung auf den durch die Bremshebel gebildeten umschließenden Zylinder ausüben. Liegen die Rollfedern in der Mitte der Bremshebel, dann sind beide Bremsflächen gleichzeitig entlastet und das Getriebe arbeitet im Leerlauf.

Beim Schalten des Getriebes ist unbedingt darauf zu achten, daß der Schalthebel bis an die Anschläge eingerückt wird, da sonst die Kupplung schleifen kann.

B. Schmierung:

Die Schmierung des Getriebes erfolgt durch eine Zahnradpumpe, die bis 5 at Druck fördert. Der Ölspiegel kann durch den Ölstandsanzeiger beobachtet werden. Die Normalhöhe des Ölstandes ist durch einen starken Strich kenntlich gemacht. Der untere und der obere schwächere Strich am Ölstandsanzeiger gibt den Höchst- bzw. Niedrigststand an. Sinkt der Öldruck unter 1 at, so erscheint am Fenster der Anzeigevorrichtung eine rote Scheibe.

Das Köllmann-Bootswendegetriebe (Abb. 56)

Die Köllmann-Bootswendegetriebe sind Kegelrad-Ausgleichgetriebe, bei denen bei Vorwärtsfahrt Motor und Abtriebswelle direkt gekuppelt werden und der Rückwärtslauf durch Abbremsen des Ausgleich-Gehäuses erzielt wird. Die Drehzahlen für Vor- und Rückwärtsfahrt sind gleich. Die Umsteuerung des Getriebes erfolgt durch einen Hebel, der in der Fahrtrichtung des Bootes bewegt die Vorwärtsfahrt, und rückwärts bewegt die Rückwärtsfahrt bewerkstelligt.

Die Hauptteile sind:

a) Ausgleichgehäuse,
b) Ausgleichgetriebe,
c) Kupplung,
d) Bremse.

Das Ausgleichgetriebe setzt sich zusammen aus zwei größeren Kegelrädern a und b, die drehbar im Ausgleichgehäuse gelagert sind und vier kleineren, um die größeren abwälzbar angeordneten Planetenkegelräder c. Das Ausgleichgehäuse setzt sich aus vier miteinander verschraubten Teilen, dem die Planetenräder tragenden und als Bremstrommel ausgebildeten Mittelstück d, sowie den Deckeln zusammen.

Die Kupplung e ist eine Mehrscheibenkupplung und besteht aus einer Anzahl Reibscheiben. Die eine Hälfte der Reibscheiben ist über das Kupplungsgehäuse f mit der Motorwelle, die andere Hälfte über das Kupplungsführungsstück mit der Schraubenwelle verbunden.

Die Betätigung der Kupplung geschieht durch eine mittels des Handhebels verschiebbare Spannmuffe g unter Vermittlung einer mit drei Spannhebeln h versehenen Druckplatte m. Durch eine am Flansch der Antriebswelle angeordnete Ringmutter i ist die Möglichkeit gegeben, bei eintretendem Verschleiß die Kupplung nach- und festzustellen.

Die Bremse zum Abbremsen des Ausgleichgehäuses beim Rückwärtslauf besteht aus einem schellenartigen Bremsband j mit den an beiden Seiten angebrachten Pratzen, die zur Befestigung und zum Abstützen am Getriebegehäuse dienen.

Die Betätigung der Bremse geschieht durch zwei Klemmscheiben mittels einer Verbindungsstange k, die zahnstangenartig verzahnt ist und mit dem ebenfalls verzahnten Spannbolzen l im Eingriff steht und bei Betätigung des Handhebels den Spannbolzen dreht, so daß entweder ein Spreizen oder ein Zusammenpressen des Bremsbandes erfolgt.

Die Schmierung des Getriebes erfolgt dadurch, daß das Schwungrad des Motors durch Eintauchen in das Ölbad Öl in die Höhe schleudert, wo es durch Ölfangmulden aufgefangen und in das Ausgleichgehäuse geleitet wird.

Das Stoeckicht-Bootswendegetriebe (Abb. 57)

Das Stoeckicht-Bootswendegetriebe ist ein Kegelradplanetengetriebe. Es wird ohne oder mit Untersetzung gebaut.

Die Hauptteile sind:

1. Gehäuse,
2. Kegelradgetriebe,
3. Lamellenkupplung,
4. Bremse.

Bei Vorwärtsfahrt wird der Bedienungshebel nach vorn gelegt, es ist dann die Kupplung a eingerückt, während die Bremse b mit dem Kegelradgetriebe leer läuft. Die Kegelräder sind bei Vorwärtsfahrt völlig entlastet und führen keine Eigenbewegung aus. Die Kraftübertragung erfolgt hierbei von der Motorwelle c, dem äußeren Kupplungskörper d über die Lamellen e auf den inneren Kupplungskörper f und die Schraubenwelle g. Kupplungshebel h und Schleifring i sind entlastet.

In der Stoppstellung ist der Bedienungshebel in Mittelstellung. Die Kupplung ist ausgerückt.

Bei Rückwärtsfahrt wird der Bedienungshebel nach rückwärts eingelegt. Hierbei wird die Bremse angezogen, der Bremskörper b und damit der Stern k mit den Planetenrädern m festgehalten. Die Kupplung bleibt ausgerückt. Die Kraftübertragung erfolgt dann von der Motorwelle c und dem äußeren Kupplungskörper d auf das mit der treibenden Welle fest verbundene Zentralrad n über die Planetenräder m auf das Zentralrad o, welches auf der Schraubenwelle g sitzt. Der Drehsinn wird dabei umgekehrt.

Getriebe mit oder ohne Untersetzung unterscheiden sich hinsichtlich der Drehrichtung nicht, d. h. der Drehsinn des Getriebes ist also in beiden Fällen gleich dem Drehsinn des Motors.

Wartungs-Vorschriften

a) Allgemeines:

Nach dem Abstellen des Motors soll das Getriebe auf Warmlaufen untersucht werden. Nach längerer Rückwärtsfahrt liegt die Betriebstemperatur etwa 50 ... 70° C über Raumtemperatur.

Nachstellung am Getriebe (Bremse oder Kupplung) soll im allgemeinen nicht vorgenommen werden. Eine Nachstellung erfolgt nur, wenn es dringend notwendig ist. Es ist darauf zu achten, daß der Schalthebel eine Neigung nach vorn von 30° nicht über- oder unterschreitet.

b) Schmierung:

Regelmäßige Ölkontrolle durch Öffnen der Ölschraube.
Ölwechsel nach den ersten 50 Betriebsstunden, danach 1/4 ... 1/2jährlich.
Vor Einfüllen des neuen Öles ist das Getriebe mit reinem Petroleum durchzuspülen.

Der Voith-Schneider-Antrieb (Abb. 58, 59 und 59a)

Der Voith-Schneider-Antrieb ersetzt umsteuerbare Schrauben, Wendegetriebe und auch Rudereinrichtung. Er besteht aus einem Schaufelrad mit senkrechten Schaufeln, die auf einem horizontal gelagerten Drehkörper laufen. Die Schaufeln werden bei ihrer kreisenden Bewegung im Wasser so gelenkt, daß sich eine Bewegung des Wasserstromes nach allen Richtungen ergibt, infolgedessen auch ein Antrieb des Schiffes nach jeder Richtung.

Zum Verständnis des Antriebes dienen die Abbildungen 58 a . . . h.

Die senkrechten Messer, die den Querschnitt und das Aussehen einer Flugzeug-Tragdecke haben, laufen senkrecht zur Bildebene auf einem Kreise mit dem Mittelpunkt 0 um. Der Steuerpunkt N steht im Angriff mit den Messern, die um einen Zapfen drehbar sind. Der Steuerpunkt N kann so verlegt werden, daß er auf einem Kreise um den Punkt 0 mit dem Halbmesser 0 N in jeder Stellung festgesetzt werden kann. Außerdem kann man die Punkte 0 und N zusammenfallen lassen (Abbildung e Stoppstellung). Die dem Schiffskörper erteilte Bewegungsrichtung entspricht der senkrechten auf der Verbindungslinie 0 N. Da der Steuerpunkt N mehr oder weniger aus der Mitte verlegt werden kann, so kann auch bei gleicher Umlaufszahl des Radkörpers mehr oder weniger Vortriebswirkung erzielt werden bis zum Grenzfall, wo N und 0 zusammenfallen. Die Schaufeln kreisen dann ohne Wirkung in tangentialer Richtung um den Punkt 0 (Abb. e).

Bei Anordnung von zwei Antriebsvorrichtungen, wie es bei den R und M Booten der Fall ist, kann eine Seitwärtsbewegung des Fahrzeuges erreicht werden (Abb. 58 h).

Die Verschiebung des Steuerpunktes N geschieht durch zwei Betätigungsorgane, die vom Führerstand aus bedient werden.

Abb. 59 zeigt einen mechanisch gesteuerten Radkranz im Schnitt. Die Schaufelsteuerung kann sowohl hydraulisch als auch mechanisch erfolgen.

Die direkte Umsteuerung der Dieselmotoren

Größere Schiffsdieselmotoren werden zum weitaus größten Teil direkt umsteuerbar eingerichtet. Das Prinzip der Umsteuerung beruht darauf, je nach der gewünschten Drehrichtung die Voraus- oder Rückwärtsnocken mit den Ventilhebelrollen in Eingriff zu bringen. Die einfachste Art der Umsteuerung ist also die Anordnung von 2 Nockensätzen für jedes Ventil und Verschieben der Nockenwelle in axialer Richtung. Für jede Drehrichtung ist ein Satz Nocken vorgesehen, der durch Verschieben der Nockenwelle unter die Rollen der Ventilhebel oder Stößelstangen gebracht werden kann. Die Versetzung der Nocken richtet sich nach den Öffnungs- und Schließzeiten der Ventile.

Die Nocken sind paarweise nebeneinander auf der Nockenwelle aufgekeilt oder zu Bündeln vereinigt. Damit die Ventilhebel beim Verschieben der Nockenwelle nicht verbogen werden, wenn ihre Rollen gegen die Nockenerhebungen stoßen, versieht man kleine Nocken mit schrägen Anläufen, auf denen die ebenfalls abgeschrägten Rollen auf die Nocken heraufgleiten können. Bei größeren Motoren hebt man die Ventilhebel während der Nockenwellenverschiebung von den Nocken ab. Im folgenden sollen einige Umsteuerungen beschrieben werden.

Beschreibung der Anlaß- und Umsteuerung der MWM Motoren (Abb. 60)

An der Bedienungsseite des Motors sind sämtliche Schaltvorrichtungen untergebracht, die zum Anlassen oder Umsteuern notwendig sind. Diese bestehen aus: Umsteuerhandrad (1), Steuerwellenverschiebehebel (18), Treibölregelhebel (31), Handrad zur Einspritzzeitpunktverstellung (33).

Beim Umsteuern ist das Umsteuerhandrad in der Betriebsstellung (5) auszurasten und in die Stoppstellung (6) zu drehen, die durch einen Zeiger am Hebelwellenvorgelege (2) markiert ist. Die Hebelwelle (3) wird dadurch so weit gedreht, daß sich die Rollen sämtlicher Ventilhebel sowie der Treibölhebel infolge ihrer ausmittigen Lagerung und mittels der verschiedenen Gestänge von den Steuernocken abheben und damit die Steuerwelle (15) und Treibölnocken (22) zur Verschiebung freigeben. Außerdem wird in der Stoppstellung das Treiböl durch den Hebel (34), der beim Abwärtsdrehen einen auf der Treibölregelwelle sitzenden Hebel mitnimmt, abgestellt. Treibölabstellung, Abhebewelle und Steuerwellenverblockung werden von einem gemeinsamen Gestänge bedient, das an einem Hebel angelenkt ist, der lose auf der Hebelwelle sitzt und durch ein auf der Welle aufgekeiltes Kupplungsstück mit Klauenspiel (11) nur beim Übergang von Betrieb nach Stopp und von Stopp nach Anlassen bewegt wird.

Der Treibölregelhebel (31) ist auf entsprechend verminderter Füllung einzustellen.

Nachdem der Motor steht, kann mit Hilfe des Steuerwellenverschiebehebels (18) die Steuerwelle (15) verschoben werden.

Zum Anlassen wird das Umsteuerrad um 180° von Stopp nach Anlassen gedreht. Die richtige Lage wird durch die Stellung des Zeigers am Hebelwellenvorgelege bestimmt. Das Handrad wird in dieser Stellung mit beiden Händen gehalten, um es beim Anspringen des Motors im Interesse kleinsten Luftverbrauchs sofort in die Betriebslage drehen zu können. Die Hebelwelle macht eine Drehung, durch die die Rollen sämtlicher Ventilhebel (Auslaß — Anlaß — Einlaß), sowie der Treibölhebel sich auf die Nocken aufsetzen. Der auf der Hebelwelle lose sitzende Hebel wird vom Kupplungsstück (11) nach unten gedrückt, die Steuerwelle und Treibölpumpenwelle werden dadurch gegen Verschieben verblockt. Das Kupplungsstück (11) trägt einen Daumen, der in der Anlaßstellung das Hauptanlaßluftventil vollständig geöffnet hat. Der Hebel (34) hat das Treiböl freigegeben, so daß

der Regler die Regelwelle wieder beeinflussen kann, soweit es der vor dem Anlassen auf verminderte Füllung gestellte Treibölregelhebel gestattet.

Sobald die Zündung einsetzt, wird das Umsteuerhandrad von Anlassen nach Betrieb gedreht und eingerastet. Durch die entsprechende Drehung der Hebelwelle werden die Anlaßrollen aus dem Bereich der Nocken gebracht und der Daumen am Kupplungsstück gibt die Druckstange des Hauptanlaßluftventils frei, das sich selbsttätig durch Federkraft schließt.

Eine weitere Ausführung des Anlaß- und Umsteuervorganges von MWM Motoren zeigt Abb. 61. An der Bedienungsseite des Motors sind sämtliche Schaltvorrichtungen untergebracht, die zum Anlassen, Umsteuern und Regeln notwendig sind. Diese bestehen aus Fahrhebel (36), Umsteuerhebel (37), Drehzahlverstellung (33) und Einspritzzeitpunktverstellung (34).

Beim Umsteuern muß der Fahrhebel auf Stopp liegen, der Umsteuerhebel wird in die gewünschte Fahrtrichtung „Zurück" oder „Voraus" gelegt. Dadurch wird über das Steuerventil (39) Druckluft zum Luftzylinder der Umsteuerung (47) gegeben. Der Kolben im Zylinder wird bewegt und nimmt die Zahnstange (50) mit. Hierdurch wird die ausmittig gelagerte Ventilhebelwelle (10) gedreht. Um ein sanftes Umsteuern zu erreichen, ist eine zweite Zahnstange (50) mit einem Ölbremszylinder verbunden. Im ersten Teil der Drehung der Ventilhebelwelle werden die Stößelstangen mit ihren Rollen von den Nocken gehoben. Dann wird durch den Nocken (52) über ein Gestänge die Steuerwelle (2) verschoben. Durch die weitere Drehung der Ventilhebelwelle werden die Stößelstangen wieder auf die Nocken gebracht.

Beim Legen des Fahrhebels (36) auf „Anlassen" wird das Hauptanlaßventil (40) geöffnet. Die Anlaßluft strömt vor die Zylinderanlaßventile (45) und gleichzeitig über die Verteilerleitung (43) zu dem Anlaßluftverteiler (44). Durch einen Nocken im Verteiler wird das Steuerluftventil des in Anlaßstellung stehenden Zylinders geöffnet und die Steuerluft gelangt über die Leitung (46) zu dem betreffenden Zylinderanlaßventil und öffnet dieses. Der Motor wird angelassen. Zündet der Motor, so legt man den Fahrhebel (36) auf „Betrieb" und stellt mit der Drehzahlverstellung von Hand (33) über den Regler (27) die richtige Drehzahl ein. Vom Regler wird die Treibölpumpenregelwelle (23) beeinflußt. Die Einstellung der Früh- und Späteinspritzung erfolgt durch das Handrad (34). Eine Verblockung (53) sorgt dafür, daß nicht angelassen werden kann, wenn nicht richtig umgesteuert ist.

Umsteuerung der MAN für Viertaktdieselmotoren (Abb. 62)

Die Umsteuerung arbeitet nach dem Grundsatz: Doppelte Nocken für jedes Ventil und Verschieben der Nockenwelle. Die Stößel werden während des Verschiebens von den Nocken abgehoben, damit kein Verbiegen eintritt.

Die Umsteuerung wird durch einen Kolben betätigt. Auf den Kolben drückt Öl, welches durch Druckluft gesteuert wird. Dieser Kolben dreht mittels eines Lenkers ein Zahnsegment, das Zahnsegment greift in ein Ritzel auf der Ventilhebelwelle ein und dreht sie dabei um 360°. Im mittleren Drittel der Schwenkung des Zahnsegmentes wird durch eine entsprechend ausgebildete Nockenscheibe ein Gestänge bewegt, das die Steuerwelle verschiebt.

Die Steuerung der Umsteuerluft geschieht vom Maschinenstand aus. Ein Umsteuerhebel betätigt die Umschaltorgane für den Zutritt der Luft zu den Umsteuerzylindern. Durch Verblockung ist dafür gesorgt, daß nicht umgesteuert werden kann, wenn das Handrad für die Bedienung des Motors nicht in Stoppstellung steht, so daß man nicht „Anlassen" kann, wenn die Umsteuerung nicht in der richtigen, d. h. der Stellung des Umsteuerhebels entsprechenden Endlage steht.

Das Umsteuern, Anlassen und Regeln des Motors geschieht durch ein Handrad. Dreht man von der Stoppstellung nach links, so wird zunächst ein Belüftungsventil geöffnet und die Umsteuerluft tritt über die Schaltwalzen zu den Umsteuerzylindern. Liegt die Nockenwelle in ihrer Endlage, so gibt die Verblockung den Weg frei zum weiteren Drehen des Handrades auf „Anlassen". Hierdurch wird durch ein Gestänge das Hauptanlaßventil aufgedrückt. Die Anlaßluft tritt zu den Anlaßventilen und gleichzeitig zu den Anlaßsteuerschiebern. Die Anlaßsteuerschieber werden auf die Nocken gedrückt, geben jedoch erst die Steuerluft nach den Anlaßventilen frei, wenn die Rolle in den negativen Teil des Anlaßnockens einläuft. Erst, wenn die Steuerluft auf den Druckluftkolben des Anlaßventils drückt, wird dieses geöffnet.

Beim weiteren Drehen des Handrades wird das Hauptanlaßventil wieder geschlossen, die Anlaßleitung am Motor entlüftet und mit zunehmender Drehung mehr Treibölfüllung gegeben. Der Hebel für die Betätigung des Hauptanlaßventils schnappt dabei automatisch wieder in die Anfangsstellung zurück, so daß er beim Rückgang des Handrades zur Stoppstellung nicht in Tätigkeit tritt.

Ein besonderer Handhebel ermöglicht das Öffnen des Hauptanlaßventils, wenn der Motor nicht angesprungen ist.

Die Regelung der jeweils einzuspritzenden Treibölmenge erfolgt von Hand an der Füllungsverstellung oder vom Sicherheitsregler entsprechend der jeweiligen Belastung.

Um ein Durchgehen des Motors bei plötzlicher Entlastung zu verhindern, ist ein Sicherheitsregler angebracht, der bei Überschreitung der Höchstdrehzahl um mehr als 10% die Füllung vermindert. Die Regelung der Treibölpumpen wird nicht direkt vom Regler beeinflußt, sondern es ist ein Servomotor zwischengeschaltet. Durch ein Handrad kann der Drehzahlbereich in gewissen Grenzen verändert werden.

H. Die Regelung der Motoren

Das Einregeln erstreckt sich auf folgende Punkte:

1. Einstellen der Nockenwelle zur Kurbelwelle,
2. Einstellen der Stößellose,
3. Feststellung der Ventilöffnungs- und Schließzeiten,
4. Einstellen der Treibölpumpen,
5. Abblasen der Ventile und Rohrleitungen auf Dichtigkeit,
6. Prüfen des Sicherheitsreglers.

Schon beim Zerlegen des Motors ist auf die richtige Zeichnung aller Teile zu achten. Die Kurbelanordnung, Eröffnungszeiten der Ventile, Drehrichtung des Motors und die Einstellmarken an den Zahnrädern sind festzulegen.

Zu 1. Die ganze Einstellung des Motors beginnt bei dem mit „I" bezeichneten Zylinder. In der Regel wird mit der Einstellung der Nockenwelle begonnen. Die Zahnräder sind gewöhnlich gezeichnet. Dadurch ist die Lage der Nockenwelle der Kurbelwelle gegenüber festgelegt. Sind keine Zeichen vorhanden, so wird die Kurbelwelle vor dem oberen Totpunkt für Kurbel „I" gestellt und die Nockenwelle so gedreht, daß der Einlaßnocken den Stößel des Einlaßventils eben berührt. In dieser Stellung wird das Zwischenzahnrad eingeschoben, und der Motor ist dann für den Beginn des ersten Taktes in Zylinder „I" eingestellt.

Zu 2. Um sicher zu sein, daß die Ventile auch im warmen Zustande des Motors bei gedehnten Ventilschäften geschlossen werden, müssen zwischen Ventilschaft und Stößel, je nach Größe der Maschine, 0,3 . . . 1 mm Lose vorhanden sein, wenn die Rolle auf dem zylindrischen Teil des Nockens liegt und somit das Ventil in Schließstellung ist. Mit Hilfe von Stellschrauben an den Stößeln lassen sich diese Lose verändern.

Zu 3. Nach dem Einbau der Ventile und dem Einstellen der Lose lassen sich die Ventileröffnungszeiten prüfen. Zweckmäßig zeichnet man sich dazu ein Steuerschaubild, in dem die Zeiten in Graden der Kurbelwellendrehung eingezeichnet werden. In dieses Schaubild wird nachher auch der Förderbeginn der Treibölpumpe eingetragen.

Abb. 22 möge das Steuerschaubild des ersten Zylinders eines Viertaktmotors sein. Die Zahlen sind der Betriebsvorschrift entnommen. Der Kolben wird in den oberen Totpunkt zu Beginn des ersten Taktes gestellt. Diese Stellung ist meist durch einen Strich auf dem Schwungrade gekennzeichnet und kann mit Hilfe eines festen Zeigers eingestellt werden. Dann wird der Motor in der Betriebsdrehrichtung langsam gedreht, während man gleichzeitig zwischen Stößel und Ventilschaft des Einsaugeventils einen Streifen dünnes Papier legt. Die Drehrichtung bei Viertaktmotoren ist richtig, wenn nach dem Öffnen des Einlaßventils das Auslaßventil schließt. In dem Augenblick, in dem das Papier festgeklemmt wird, beginnt die Eröffnung des Einsaugeventils. Nun stellt man die Entfernung zwischen der Kolbentotpunktmarke des betreffenden Zylinders und dem festen Zeiger auf dem Umfange des Schwungrades fest und rechnet diese in Grade um.

Es ist

$$U = 360°$$
$$U = D \cdot \pi$$
$$360° = D \cdot \pi$$
$$1° = \frac{D \cdot \pi}{360} \text{ oder } \frac{U}{360}$$

Ist z. B.

$$D = 750 \text{ mm}$$

$$\text{so ist } 1° = \frac{750 \cdot \pi}{360} = 6{,}54 \text{ mm}$$

In der beschriebenen Weise werden die Daten für alle Ventile festgestellt. Zweckmäßig ist folgendes Muster:

Zyl. Nr.	Einlaßventil				Auslaßventil				Anlaßventil			
	Stößel-lose	öffnet	schließt	Gesamt-eröff-nungs-dauer	Stößel-lose	öffnet	schließt	Gesamt-eröff-nungs-dauer	Stößel-lose	öffnet	schließt	Gesamt-eröff-nungs-dauer
I.	0,4	20° v. O.T.	20° n. U.T.	220°	0,5	30° v. U.T.	10° n. O.T.	220°	0,3	2° n. O.T.	35° v. U.T.	143°
II.	0,35	24° v. O.T.	25° n. U.T.	229°	0,5				0,3			
III.	0,45	17° v. O.T.	16° n. U.T.	213°	0,5				0,3			
IV.	0,4	19° v. O.T.	20° n. U.T.	219°	0,5				0,3			
V.	0,4	21° v. O.T.	21° n. U.T.	222°	0,5				0,3			
VI.	0,4	20° v. O.T.	20° n. U.T.	220°	0,5				0,3			
Soll	0,4	20° v. O.T.	20° n. U.T.	220°	0,5	30° v. U.T.	10° n. O.T.	220°	0,3	2° n. O.T.	35° v. U.T.	143°

Die Tabelle zeigt, daß bei dem Einlaßventil von Zylinder IV und V die gefundenen Werte und die Sollwerte um geringe Beträge verschieden sind. Unterschiede von 1 oder 2° spielen bei Einlaß- und Auslaßventilen keine wesentliche Rolle, und man kann sich mit der vorhandenen Einstellung zufrieden geben.

Das Einlaßventil des Zylinders II hat eine zu frühe Eröffnung und ein zu spätes Schließen und damit eine um 9 Grad zu große Gesamteröffnungsdauer. Hier ist die Stößellose zu gering eingestellt. Nach seiner Vergrößerung sind die einzelnen Werte für dieses Ventil erneut festzustellen.

Die Steuerdaten des Einlaßventils an dem Zylinder III zeigen ein zu spätes Eröffnen, ein zu frühes Schließen und eine um 7 Grad zu geringe Gesamteröffnungsdauer. Die Stößellose ist zu groß und muß verkleinert werden. Jedoch darf man nicht unter das kleinste, noch zulässige Maß gehen, weil das betriebswarme Ventil sonst nicht geschlossen und der richtige Verdichtungsdruck nicht erreicht werden würde.

Zu 4. Da die Einstellung der Treibölpumpen von der Bauart der Pumpen abhängig ist, wird sie bei den Treibölpumpen beschrieben.

Zu 5. Nach der Regelung aller den Arbeitsvorgang im Motor steuernden Teile sind eine Reihe von Dichtigkeitsproben vorzunehmen, um Versager bei der ersten Inbetriebnahme des Motors nach Möglichkeit auszuschließen. Zwangsläufig gesteuerte Anlaßventile prüft man auf Dichtigkeit, indem man bei geöffneten Prüfhähnen und bei Stoppstellung der Anlaßsteuerung die Anlaßleitung unter Druck setzt, wobei das Hauptanlaßventil in der Anlaßleitung aufzudrücken ist. Undichte Ventile machen sich durch Ausströmen von Luft aus den Prüfhähnen der Zylinder bemerkbar.

Die Dichtigkeit der Kühlrohrleitungen und Kühlräume wird durch Unterdrucksetzen durch eine Ersatzpumpe und durch eingehende Untersuchung der ganzen Anlage geprüft.

Die Dichtigkeitsprobe der Motorenölleitungen des ganzen Motors erfolgt durch Anstellen der Motorenölersatzpumpe. Dabei ist besonders auf die Ölanschlußleitungen der Kurbelwellenlager im Innern des Maschinengestells zu achten, weil die Beobachtung dieser Leitungen im Betriebe gewöhnlich nicht möglich ist. Bei Motoren mit Ölkolbenkühlung darf das Öl aus undichten Gelenken beim Betriebsdruck höchstens in Form ganz feiner Strahlen austreten, weil andernfalls die ausreichende Kühlung der Kolben in Frage gestellt wird.

Zu 6. Der Sicherheitsregler soll das Überschreiten der Höchstdrehzahl möglichst schnell abdrosseln. Beim Einregeln muß durch Einstellen der Reglerfeder erreicht werden, daß bei voller Motorbelastung und plötzlichem Ausrücken der Kupplung die Drehzahl nur etwa 5% über die höchstens zulässige hinausgeht.

J. Schwingungsdämpfer

Durch die stoßweise Belastung der Kurbelwelle bei allen Kolbenmaschinen wird eine Ungleichmäßigkeit in der Umlaufgeschwindigkeit der Welle erzeugt. Diese Stöße können bei Motoren in gewissen Drehzahlen Eigenschwingungen der Welle hervorrufen, die zu Bruchbelastungen führen und den Motor gefährden. Man sucht diese Drehschwingungen durch geeignete Schwingungsdämpfer so weit herunterzusetzen, daß eine übermäßige Belastung nicht auftritt bzw. man sucht die Schwingungen innerhalb des ganzen Drehzahlbereiches eines Motors zu vermeiden.

Alle diese Schwingungsdämpfer beruhen darauf, daß eine am Umfange einer Scheibe befindliche Schwungmasse, die mit der Welle umläuft, gegenüber der Welle Eigenbewegungen ausführen kann, d. h. mit ihrer Masse bei plötzlicher Beschleunigung der Welle hinter der Wellengeschwindigkeit zurückbleibt, bei Verlangsamung der Geschwindigkeit entsprechend voreilt.

Der einfachste Schwingungsdämpfer für kleine schnellaufende Motoren ist von Junkers gebaut worden. Er besteht aus einer starken Gummischeibe, die einseitig am Wellenstumpf befestigt ist. Die Elastizität des Gummis bewirkt hier ein Verdrehen der äußeren Werkstoffschichten gegenüber dem Befestigungsflansch, so daß ein Ausgleich der Drehschwingungen erreicht wird.

Für größere Motoren ist jedoch diese einfache Art der Schwingungsdämpfung nicht zu verwenden. Es wird daher die Schwungmasse mit der Welle durch mechanische Reibungswiderstände oder durch eine Flüssigkeit gekuppelt.

Der Schwingungsdämpfer von Maybach ist am hinteren Ende der Kurbelwelle angebaut (Abb. 63). Er besteht aus einer fest aufgesetzten leichten Scheibe a, welche mit der Welle starr verbunden ist und alle Schwingungen zwangsläufig mitmacht. An ihrem Umfang sind einzelne Segmente b mit Reibungsbelag eingesetzt. Auf der festen Scheibe a sind zwei nebeneinanderliegende schwere Schwungringe c geführt, welche durch verstellbare Federn f gegen den Reibungsbelag gepreßt werden. Diese Schwungringe machen infolge ihrer Trägheit die Verdrehungsschwingungen der Welle nicht mit, sondern gleiten auf dem Reibbelag, so daß Eigenbewegungen der Ringe zu der Reibscheibe eintreten. Diese auftretenden Reibungskräfte sind durch die Federn so abgestimmt, daß kritische Drehzahlen überhaupt vermieden werden. Durch falsches Einstellen der Federn kann jedoch die Wirkung vollkommen aufgehoben bzw. bei zu festem Anziehen die Bruchgefahr noch über das normale Maß erhöht werden.

Der Flüssigkeits-Schwingungsdämpfer von Junkers (Abb. 64) besteht aus dem Dämpferrad a, welches mit der Kurbelwelle verbunden ist. Die Dämpfermasse b wird durch zwei Scheiben gebildet, welche Kammersegmente besitzen und drehbar auf der Radnabe gelagert sind. Dämpferrad a und Dämpfermasse b sind durch zwei schwache Federpaare e so miteinander verbunden, daß bei Stillstand des Motors die am Dämpferrad a verteilten Schaufeln c in der Mitte der Kammern d liegen. Um diese Mittellage kann die Dämpfermasse nach jeder Seite einige Grad pendeln. Die Dämpferkammern sind mit Öl gefüllt. Bei einer Eigenbewegung des Dämpferrades gegen die Dämpfermasse wird das Öl von einer Kammer in die andere gesaugt bzw. gedrückt. Durch die Flüssigkeitsreibung wird Energie vernichtet und dadurch die Schwingung gedämpft. Die entstandene Wärme wird durch das Motorenöl abgeführt, welches im Kreislauf durch den Dämpfer geht. Vom Dämpfer fließt das Öl in den Motorölsumpf zurück. Der Schwingungsdämpfer besitzt nur ein Gewicht von ≈ 6 kg und eignet sich besonders für Flugmotoren.

Der Sandner Schwingungsdämpfer (Abb. 65) besteht aus einem Dämpferkörper a, welcher starr mit der Welle verbunden ist. In dem Dämpferkörper sind Zahnräder c genau eingepaßt, die sich um Zapfen drehen können, welche in zwei Deckringen d befestigt sind. In dem Schwungkörper b sind innen Zähne eingeschnitten, die den Zähnen der Ritzel c entsprechen. Stimmt die Bewegung des Schwungkörpers nicht mit der des Dämpferkörpers überein, so werden diese Zahnräder in Drehung versetzt. Die Zahnräder wirken als Pumpen für das Drucköl, welches ihnen durch Bohrungen im Dämpferkörper und durch die hohle Welle zugeführt wird. Zu jedem Ritzel führt je eine Bohrung f und f_1 aus der hohlen Welle, die als Sauge- und Druckkanal bestimmt sind und in der Welle durch die Scheidewand e voneinander getrennt sind. Die Scheidewand e ist als Kammer ausgeführt und besitzt kleine Öffnungen, die durch federbelastete Ventile den Ölumlauf bei normaler Belastung der Welle unterbinden. Treten jedoch größere Verdrehungsschwingungen auf, so überwindet die Schwungmasse den Federdruck und setzt die Zahnräder in Bewegung, die nunmehr als Pumpen arbeiten, weil sie eine Eigenbewegung des Schwungringes zu dem Dämpferkörper zulassen. Hierdurch tritt ebenfalls eine Abschwächung bzw. Vernichtung der Schwingungen auf.

Der MAN Hülsenfederdämpfer (Abb. 66)

Der Dämpfer besteht aus einer Schwungscheibe 1, die fest auf dem freien Kurbelwellenende aufgekeilt ist, und dem Schwungring 2, der drehbar auf der Schwungscheibe gelagert ist. Damit bei gegenseitiger Bewegung kein Fressen eintritt, ist die Auflagefläche der Scheibe mit Weißmetall ausgegossen. Die elastische Verbindung beider Teile geschieht durch Hülsenfedern 3, die in den je

zur Hälfte in Scheibe und Kranz eingearbeiteten Bohrungen sitzen. Je 15 Federn sind zu einem Paket vereinigt, von denen je 3 eine Bohrung ausfüllen. Der Ausschlag der Feder wird durch einen Hubbegrenzungsbolzen begrenzt. Eine Ausschlagleiste 4 verhindert das Verlagern der einzelnen Federn. Treten Drehschwingungen auf, so nimmt infolge der federnden Verbindung der äußere Schwungring nicht mehr voll an den Drehschwingungen teil (Beharrungsvermögen). Dadurch ändert sich aber die Eigenschwingungszahl der Welle, das kritische Gebiet wird verlegt, so daß es erst gar nicht zur Auswirkung kommt.

Der MAN Hülsenfederdämpfer und der Sandner Dämpfer werden bei der Marine auch als elastische Kupplung zwischen Motor und angetriebenen Hilfsmaschinen verwendet.

K. Die Druckluftanlage

Zur Druckluftanlage gehören die zur Erzeugung der Anlaß- und Steuerluft notwendigen Verdichter mit Zwischenkühlern, Wasser- und Ölabscheidern, ferner die zur Aufspeicherung und zur Verteilung notwendigen Behälter und Leitungen.

a) Die Luftverdichter

Die zur Erzeugung der notwendigen Druckluft im Dieselmotorenbetrieb gebrauchten Luftverdichter sind mehrstufige Hochdruckkolbenluftpumpen, die von der Kurbelwelle des Motors selbst angetrieben werden können oder als Maschinen mit Eigenantrieb arbeiten.

Die Verdichtung der Luft auf den Betriebsdruck erfolgt in zwei, drei oder vier Stufen. Da bei zweistufigen Verdichtern die Endtemperaturen in jeder Stufe hoch sind und auch die Betriebssicherheit gefährden, werden drei- oder vierstufige Luftpumpen gebaut. Die Kolben sind Stufenkolben, die in einem entsprechend abgestuften Zylindergehäuse gleiten. Bei vierstufigen und mitunter auch bei dreistufigen Pumpen großer Leistung werden zwei Zylinder nebeneinander angeordnet und darin die einzelnen Stufen so untergebracht, daß die Zylinderleistungen annähernd gleich sind. Abb. 67 zeigt schematisch mehrere Bauarten von Luftverdichtern und Abb. 68 einen schematischen Plan einer Luftverdichtungsanlage.

Die gußeisernen Zylinder und Zylinderdeckel der Luftpumpen werden durch Wasser gekühlt. Die Kolben erhalten als Dichtung eine Reihe selbstspannender Gußeisenringe. Die Gradführung der Kolben wird durch die Tauchkolbenbauart oder auch durch besondere Kreuzköpfe mit Gleitschuhen und Gleitbahnen erreicht. Ein Schnitt durch einen Verdichterzylinder wird in Abb. 69 gezeigt.

Die Sauge- und Druckventile der einzelnen Stufen werden heute allgemein durch stählerne federbelastete Platten gebildet, da deren Gewicht gering ist und die Beschleunigungsdrucke beim Öffnen und Schließen infolgedessen klein bleiben.

Die in den einzelnen Stufen verdichtete, stark erhitzte Luft wird in Zwischenkühlern auf eine möglichst tiefe Temperatur heruntergekühlt. Je ein Kühler wird zwischen zwei Stufen und zwischen der letzten und dem Sammelgefäß angeordnet. Die Kühler werden durch Rohrschlangen oder besser durch Rohrbündel gebildet, die vom Kühlwasser umspült werden.

Mit der atmosphärischen Luft wird Wasserdampf angesaugt und verdichtet. Dieser kondensiert im Kühler und muß als Wasser von der Luft abgeschieden und abgeführt werden. Außerdem gelangt trotz der Abstreifringe Motorenöl in die verdichtete Luft und verdampft. Auch dieser Dampf wird im Kühler niedergeschlagen und muß als Ölkondensat aus der Luft entfernt und abgeführt werden, damit es nicht in die nächste Stufe gelangt. Die Luft muß daher hinter jedem Kühler einen Öl- und Wasserabscheider durchstreichen, der in regelmäßigen Abständen zu entleeren ist. In Abb. 69 ist ein Luftkühler mit Öl- und Wasserabscheidern für einen zweistufigen MAN Luftverdichter dargestellt. Um die einzelnen Stufen der Luftverdichtungsanlagen gegen Beschädigungen durch zu hohe Überdrucke zu schützen, baut man in die Druckleitung jeder Stufe ein Sicherheitsventil ein, das sich bei Überschreitung des zulässigen Druckes selbsttätig öffnet. Die Gehäuse der Röhrenkühler werden verhältnismäßig dünnwandig ausgeführt. Sie würden also beim Undichtwerden der Rohrbündel bersten können, wenn nicht durch Sicherheitsventile Schutz geboten würde. Diese Sicherheitsventile kommen allerdings sehr selten zur Wirksamkeit und setzen sich meist im Laufe der Zeit fest. Sie versagen dann sehr oft im Augenblick der Gefahr. Vielfach werden darum Sprengplatten in die Kühlergehäuse eingesetzt, die bei zu hohem Innendruck zu Bruch gehen und das Gehäuse schützen.

Da bei Einspritzdieselmotoren der Verdichter nicht dauernd in Betrieb genommen wird, ist eine Vorrichtung zum Abschalten des Verdichters bei laufendem Motor eingebaut (Abb. 69).

Eine Vorschrift besagt, daß alle größeren Schiffe, deren Motoren mit Luft angelassen werden, einen Hilfsverdichter an Bord haben müssen, welcher von Hand angelassen werden kann. Die Größe der Luftbehälter muß so bemessen sein, daß die Motoren des Schiffes eine größere Anzahl von Manövern ausführen können, ohne daß die Reserveluftbehälter in Betrieb genommen werden müssen.

b) Die Anlaß- und Steuerluftbehälter

Die vom Verdichter geförderte Druckluft wird in Flaschen geleitet, die als Sammler für die geförderte Luft dienen. Die aus einem Stück Stahl gezogene Flasche wird durch einen Kopf verschlossen, der die notwendigen Ventile aufnimmt.

Das Füll- oder Ladeventil dient zum Abschluß der vom Verdichter kommenden Leitung.

Durch das Kopfventil wird die aus der Flasche entnommene Luft den Luftleitungen zugeführt.

Das Entwässerungsventil gestattet das Entfernen des abgelagerten Ölwassergemisches durch den Luftdruck in der Flasche. Es ist durch ein Rohr mit der tiefsten Stelle der Flasche verbunden.

Durch das Sicherheitsventil wird ein Überschreiten des Betriebsdruckes beim Füllen unmöglich gemacht.

Bei Luftabsperrventilen in den Flaschenköpfen vermeidet man heute grundsätzlich Stopfbuchsen für die Spindeldurchführungen. Die Spindeln erhalten sogenannte Rücksitze, die sich gegen Ringe aus Kupfer, Fiber, Hartgummi oder ähnliche Dichtungsstoffe pressen und so die Spindel abdichten. Als Leitungsmaterial benutzt man stählerne und kupferne nahtlos gezogene Rohre.

In die Anlaßleitung schaltet man das Hauptanlaßventil ein, das die Luft nur während des Anlaßvorganges zu den Ventilen gelangen läßt, im normalen Betriebe aber geschlossen bleibt. Außerdem durchstreicht die Anlaßluft auf dem Wege vom Luftbehälter zur Maschine in der Regel ein Druckminderventil, um die hochgespannte gespeicherte Anlaßluft auf den Gebrauchsdruck von etwa 20 atü selbsttätig entspannen zu können.

Abb. 122 zeigt ein Druckminderventil von der MAN. Das Schema einer Luftleitung eines MAN Motors ist in Abb. 70 dargestellt.

Der Marine-Verdichter von Junkers wird in Teil V beschrieben.

c) Die Spülluftpumpen

Zweitakt-Dieselmotoren erhalten zur Vorverdichtung der Spül- und Ladeluft besondere Spülluftpumpen; dies sind bei kleineren Motoren Kolbenpumpen, die durch die Kurbelwelle von den Kreuzköpfen aus oder durch Schwinghebel angetrieben werden. Die Sauge- und Druckventile dieser Pumpen werden meist durch dünne federbelastete Stahlplatten gebildet. In neuerer Zeit geht man, besonders bei Motoren großer Leistung, zu umlaufenden Verdichtern für die Spülluftbeschaffung über. Diese Gebläse werden in der Regel durch schnellaufende Elektromotoren oder Dieselmotoren angetrieben unter Zwischenschaltung einer Übersetzung.

Die Spülluftmenge, die für einen Motor gebraucht wird, richtet sich hauptsächlich nach der Luftführung beim Spülvorgang und der Geschwindigkeit, mit der die Luft durch den Zylinder streicht. Sie ist bei gegebener Luftführung der Drehzahl des Motors anzupassen. Um eine gewisse Geschwindigkeit zu erreichen, muß die Spülluft verdichtet und beim Eintritt in den Zylinder auf den Abgasdruck entspannt werden. Die Höhe des Spülluftdruckes ist bei den Ausführungen des Dieselmotors verschieden und ändert sich außerdem bei jedem Motor mit der Drehzahl. Während man bei langsamlaufenden Motoren mit 0,1 . . . 0,2 at Druck auskommt, muß man bei sehr schnellaufenden Motoren auf 0,4 at Druck gehen, um den Spülvorgang in der bei diesen Motoren dafür zur Verfügung stehenden außerordentlich kurzen Zeit zu bewerkstelligen. Mit wachsender Spülluftmenge und steigendem Druck wächst der Arbeitsaufwand für den Spülvorgang, dabei sinkt der mechanische Wirkungsgrad des Motors.

Durch geeignete Ausbildung und Anordnung der Spülventile und der Spül- und Auspuffschlitze und geeigneter Abgas- und Spülluftführung sucht man den Verbrauch an Spülluft zu verringern und damit die für die Verdichtung notwendige Arbeitsleistung herabzusetzen. Der theoretisch geringste Verbrauch an Spülluft wäre erreicht, wenn für jeden Spül- und Ladevorgang das Zylindervolumen an Luft genügen würde. Da aber durch die Auspuffschlitze stets Luftverluste eintreten, wird zur Reinigung und zum Laden der Zylinder der Luftaufwand immer größer sein müssen.

VIERTER TEIL

Der Einspritzdieselmotor

A. Die Einrichtungen für die Zuführung des Treiböles

1. Allgemeines

Der Einführung des Einspritzmotors standen erhebliche Schwierigkeiten entgegen, bis man durch Versuche die Vorgänge bei der Einspritzung und Verbrennung im Zylinder untersucht und beherrschen gelernt hatte. Voraussetzung für eine gute Verbrennung ist bei luftloser Einspritzung:

1. eine gute Zerstäubung und räumliche Verteilung des Treiböles im Zylinder;
2. eine zeitlich genaue Begrenzung der Einspritzung mit rechtzeitigem Beginn und Schluß;
3. richtige Bemessung der eingespritzten Menge.

Zu 1. Die Zerstäubung setzt gut durchgebildete Einspritzvorrichtungen (Düsen) voraus. Man unterscheidet offene und geschlossene Düsen. Die offenen Düsen (Abb. 72) sind starkwandige Rohre, die in den Zylinderdeckeln mit Kegel abdichten und an ihren Enden die Mehrlochdüsenplatte tragen. Die Bohrungen der Düsenplatte sind sehr fein, um gute Zerstäubung zu erreichen. Diese feinen Löcher verstopfen bei der geringsten Unreinigkeit im Treiböl. Ein weiterer Übelstand ist das Nachtropfen. Es bilden sich nach Beendigung der Einspritzung an der Düse kleine Tropfen, die nur unvollkommen verbrennen, also verkoken, und so zum Dichtwachsen der Düsenlöcher führen. Dem letzten Übelstand tritt man durch besondere Ausführung der Treibölpumpen und Leitungen entgegen.

Geschlossene Düsen erhalten eine federbelastete, selbsttätig arbeitende Nadel, die die Düsenöffnung verschließt (Abb. 72). Geöffnet wird die Nadel durch den Treiböldruck auf den Ansatz a, sobald der Federdruck überschritten ist. Die Federspannung bestimmt also die Höhe des Öffnungsdruckes. Die Nadel hat gegen den hohen Pumpendruck dichtzuhalten, ist also sehr empfindlich.

Neben der Düse ist die Gestaltung des Verbrennungsraumes von besonderer Wichtigkeit. Der Einspritzkegel muß so gerichtet sein, daß seine Strahlen nicht gegen die kalten Zylinderwandungen treffen. Hier würde das Treiböl abkühlen, und die Rußbildung wäre die Folge.

Bei doppeltwirkenden Motoren wird das Treiböl auf der Kolbenstangenseite tangential eingespritzt, damit es die Stange nicht trifft. So wird die Stange gegen die hohe Verbrennungstemperatur zum Teil geschützt (Abb. 71).

Zu 2. Die Einführung des Treiböles bei dem Motor mit luftloser Einspritzung muß verhältnismäßig früh vor dem Totpunkt beginnen, um eine gute Verbrennung zu erzielen. Die Mischung des Treiböles mit der Luft erfolgt erst im Zylinder. Hierdurch tritt ein Zündverzug von 10 . . . 20° Kurbeldrehwinkel ein. Eine normale Gleichdruckverbrennung ist nicht mehr möglich, vielmehr zeigen die Schaubilder des Einspritzmotors Spitzen. Die Voreinspritzung ist so gelegt, daß im Anfang Gleichraumverbrennung erfolgt, im weiteren Verlauf erfolgt sie angenähert unter gleichem Druck.

Der Treiböldruck muß so stark sein, daß die Tröpfchen bei der gegebenen Verdichtung die Luft im Zylinder durchschlagen und sich ausbreiten können. Die Einspritzung durch die Pumpe muß schlagartig erfolgen. Dies bedingt eine besondere Form der Treibölnocken und Ventile. Der Nocken soll den Druck, der beim Öffnen des Ventils stark abfällt, schnell steigern und auf die richtige Höhe bringen. Erschwerend fällt bei den benötigten hohen Drucken die Trägheit der Ventile und der Einfluß der Treibölleitung ins Gewicht. Die Bewegung der Ventile erfolgt zu langsam, und der Querschnitt wird durch die spitze Nadel stark verengt; also muß der Hub sehr groß gemacht werden.

Durch die hohen Pumpendrucke tritt eine Ausdehnung der Treibölleitungen ein, die sich nach der Druckentlastung wieder zusammenziehen. Durch dieses Atmen der Leitungen verzögert sich die Einspritzung, und es tritt ein Nachtropfen der Düse ein, da sich die unter dem hohen Druck stehende Treibölsäule einen Ausweg durch die Düse sucht.

Man gibt deshalb jedem Zylinder seine eigene Treibölpumpe, macht die Leitungen möglichst kurz und starkwandig und strebt gleiche Länge aller Pumpendruckleitungen an, um gleichmäßige Verzögerungen zu erhalten.

Bei sehr starken Pumpendrucken entlastet man die Treibölleitungen durch Einbau besonderer Entlastungsventile an den Treibölpumpen. (Siehe Treibölpumpen Firma Bosch.)

Zu 3. Auch die richtige Bemessung der Treibölmenge wird durch die angeführten Verhältnisse stark beeinflußt. Sie bedingt besondere Ausführung der Treibölpumpen. Die Pumpen müssen sehr genau gearbeitet sein, da wegen der hohen Drucke und der starken Reibung in Stopfbuchsen nur metallische Dichtung in Frage kommt. Der Kolben erhält seine Bewegung durch einen Nocken. Der Antrieb durch Scheibenkurbel und Treibstangen erfolgt zu ungleichmäßig und schleichend. Auch würde der hohe Druck sehr starke Ausführung dieser Teile verlangen. Der Saughub wird durch eine starke Feder veranlaßt, die den Kolben immer gegen den Nocken drückt. Die geringste Luftmenge in den Pumpen oder Leitungen arbeitet als Luftkissen und führt zum Ausfall des betreffenden Zylinders. Jedes Eindringen von Luft während des Betriebes muß ausgeschlossen sein. Es werden an der Pumpe und an den Leitungen Entlüftungsschrauben vorgesehen, aus denen beim Vorpumpen vor dem Anlassen des Motors die Luft entweichen kann.

2. Ausführung von Treibölventilen

a) Bosch-Düsen und -Düsenhalter (Abb. 74 und 75)

Düsen

Die Bosch-Düsen sind geschlossene, vom Treiböldruck gesteuerte Düsen für Einspritzdrucke von 60 kg/cm^2 an aufwärts. Sie werden als „Zapfendüsen" und als „Lochdüsen" ausgeführt.

Bild 1 zeigt eine Zapfendüse in geschlossenem Zustand, Bild 2 in geöffnetem. Diese Düse hat ihren Namen von dem am unteren Ende der Düsennadel befindlichen Zapfen, der mit geringem Spiel in die Düsenbohrung des Düsenkörpers hineinragt.

An den Zapfen schließt sich eine kleine kegelige Fläche an, auf der die Düsennadel im Düsenkörper ruht und die als Dichtungsfläche dient. Auf diese Dichtungsfläche folgt nach oben ein kurzes zylindrisches Stück und anschließend ein zweiter größerer Kegel, der dem Treiböl die nötige Angriffsfläche bietet, um die Nadel von ihrem Sitz abzuheben.

Das Treiböl gelangt zur Austrittsöffnung der Düse durch senkrechte Bohrungen im Düsenkörper, die in einer Ringnute in Höhe der kegeligen Angriffsfläche der Düsennadel endigen.

Düsenkörper und Düsennadel sind aus hochwertigem Werkstoff, sie sind gehärtet und mit Feinpassung eingeschliffen und können daher nicht für sich ausgewechselt werden.

Die „Lochdüsen" unterscheiden sich von den Zapfendüsen durch die Ausbildung der Spritzöffnung. Sie werden als Einloch- und als Mehrlochdüsen ausgeführt. Bild 4 zeigt eine Einlochdüse in geöffnetem Zustand. Die Achse der Austrittsöffnung einer solchen Düse kann mit der Düsenachse zusammenfallen oder mit ihr einen Winkel bilden.

Die Mehrlochdüsen, von denen Bild 3 eine Ausführungsform darstellt, sind in erster Linie bestimmt für Motoren mit unmittelbarer Strahleinspritzung, bei denen das Treiböl durch die Düse gut verteilt werden muß.

Düsenhalter (Abb. 75)

Zur Befestigung der Düse im Motorenzylinder und zu ihrer Verbindung mit der Treibölleitung dient der Düsenhalter (6). Der Schaft des Halters hat eine geschliffene Unterseite, gegen die der Düsenkörper (10) durch die Überwurfmutter (8) gepreßt wird.

Von dem Druckrohrstutzen (11), an den die Druckleitung angeschlossen wird, führt eine Bohrung durch das Haltergehäuse und mündet auf die Ringnute des Düsenkörpers. Oben im Gehäuse sitzt die Ventilfeder (5), die ihren Druck über den Druckbolzen (7) auf die Düsennadel (9) überträgt. Die Vorspannung der Feder und damit der Düsenöffnungsdruck kann durch die Einstellschraube (2) verändert werden (bei Düsenhaltern ohne Einstellschraube durch Einlegen von Stahlplättchen unter die Feder). Durch die Bohrung der Einstellschraube ist eine Fühlnadel (1) geführt, mit der das Arbeiten der Düse während es Betriebes geprüft werden kann. Leichte Stöße zeigen an, daß die Düse sich öffnet.

Um ein Verstopfen der Lochdüsen durch verunreinigtes Treiböl zu verhindern, wird in den Druckrohrstutzen des Düsenhalters dieser Düsen ein Stabfilter eingebaut.

Die am Schaft der Düsennadel entweichenden geringen Leckölmengen gelangen durch die mittlere Bohrung im Düsenhalter zum Anschluß (12) der Leckölrückleitung und werden von dort abgeführt.

Reinigen der Düsen

Ist eine Düse verschmutzt oder haben sich Verkrustungen angesetzt, so kann das Innere der Düse mit Hilfe eines Holzstäbchens und Benzin oder Treiböl gesäubert werden; die Düsennadel ist mit einem sauberen Lappen zu reinigen. Harte oder scharfe Gegenstände, wie Schmirgelpapier oder Dreikantschaber, dürfen dazu nicht benutzt werden. Vor dem Zusammenbau sind Düsennadel und Düsenkörper in sauberes Treiböl zu tauchen, damit die Nadel im Düsenkörper leicht gleiten kann. Die Bohrungen der Lochdüsen können mit Hilfe einer besonderen Reinigungsnadel gereinigt werden.

Zerlegen des Düsenhalters mit Düse

Der Düsenhalter darf nur auf einer Unterlage zerlegt werden, die unbedingt sauber und frei von Spänen ist. Zu beachten ist ferner, daß wegen der Feinpassung die Düsennadel der Düse nicht für sich ausgewechselt werden kann. Düse und Düsennadel sind als ein Stück zu betrachten und müssen zusammen ausgewechselt werden.

b) Treibölnadelventil der MAN mit Vorsatzdüse (Abb. 77)

Die Treibölnadelventile treten beim Arbeitshub in Tätigkeit.

Die Hauptbestandteile des Ventils sind:

die Nadelführung 1 mit zugehöriger Nadel 2 und Treiböldüse 3,
die Düsenmutter 4, der Düsenhalter 5 und das Federgehäuse 6.

Die Treibölnadel wird durch die im Federgehäuse 6 befindliche Feder unter Vermittlung eines Stößels 8 geschlossen gehalten. Das Öffnen der Nadel erfolgt unter dem Einfluß des Treiböldruckes selbsttätig. Sobald der Treiböldruck die Höhe erreicht hat, welche der Vorspannung der Feder entspricht, wird die Nadel geöffnet, und die Einspritzung beginnt. Ist die Treibölzuführung von der Treibölpumpe her beendet, dann schließt die Nadel wieder von selbst durch den Federdruck. Das Treiböl wird durch die Leitung 9 und die Kanäle 10 zugeführt.

Die Düse und die Nadelführung werden durch Motorenöl gekühlt, welches durch die Leitung 11 und die Kanäle 12 zu- bzw. abgeführt wird.

Das P r ü f e n der Nadelventile geschieht durch eine Abdrückpumpe mit Druckmesser. Dabei wird das Ventil im Freien an die Pumpe angeschlossen und das Federgehäuse nochmals etwas gelöst, und zwar nur so viel, bis man mit dem Handhebel den Öffnungsdruck der Treibölnadel überwinden kann. Spritzen alle Löcher einwandfrei und findet auch bei öfterem schnellen Pumpen mit dem Handhebel ein einwandfreies Abreißen der Treibölstrahlen ohne Nachtropfen an der Düse statt, so ist das Nadelventil in Ordnung.

c) Das MWM Treibölventil (Abb. 73)

Abb. 73 zeigt ein MWM Treibölventil mit geschlossener Düse. Es besteht aus dem Ventilkörper, der Düsennadel mit Führungsbuchse, der Feder mit Federteller, dem Zerstäuber, der Einlochdüsenplatte, der Stellschraube und der Entlüftungsschraube.

W i r k u n g s w e i s e:

Der Treiböldruck öffnet die Nadel gegen den Druck der Feder. Zur Verbesserung der Zerstäubung wird dem Treiböl im Zerstäuber ein gewundener Weg vorgeschrieben. Bei Beendigung der Treibölförderung durch die Treibölpumpe schließt die Feder die Nadel plötzlich. Dadurch wird das Nachtropfen verhindert. Ein Ansatz an der Düsennadel stößt durch die Düsenbohrung und verhindert das Dichtwachsen durch Verkokung des Treiböltropfens an der Düse. Die Entlüftungsschraube dient zum Entlüften der Treibölleitung und des Ventils vor Betriebsbeginn.

Die Vorspannung der Feder ist in der Betriebsvorschrift festgelegt und wird durch Handpumpe mit Druckmesser geprüft.

d) Die Deckel-Treibölventile (Abb. 76)

Durch die Bohrung der Druckleitung tritt das Treiböl in den Ölraum b unter die Düsennadel 1. Erfolgt nun ein Druckhub der Pumpe, so hebt sich nach Überwindung des durch den Federbolzen 3 über den Federteller 4 auf die Feder 5 übertragenen Druckes die Düsennadel 1 vom Sitz der Düsenbuchse 2 ab und läßt das Treiböl durch die Bohrungen in der Düsenplatte fein zerstäubt in den Verbrennungsraum des Zylinders mit großer Durchschlagskraft eindringen. Nach Abfall des Druckes in der Druckleitung wird die Düsennadel durch den Druck der Feder 5 geschlossen.

Die Düse wird durch einen über den Düsenhalter 6 gelegten Druckflansch im Zylinderkopf gehalten.

B. Die Arbeitsverfahren der Einspritzdieselmotoren

1. Die Strahlzerstäubung (Reine Druckeinspritzung)

Das Treiböl wird bei diesem Verfahren unter einem Druck von 150 ... 300 at durch offene oder geschlossene Düsen (Abb. 72) in den Verbrennungsraum eingespritzt. Zur Einleitung der Zündung müssen zwei Bedingungen unbedingt erfüllt sein:

1. Eine genügend hohe Temperatur, die das Treiböl sofort bei der Zuführung im Brennraum zur Entzündung bringt,
2. die gleichmäßige Verteilung des Treiböles in möglichst feinen Tröpfchen über den ganzen Verbrennungsraum des Zylinders.

Die erste Forderung wird dadurch erreicht, daß man den Verdichtungsenddruck auf ≈ 30 at hinauftreibt, obwohl schon bei ≈ 24 at sichere Zündung erreicht wird. Es ist also ein beträchtlicher Temperaturüberschuß zur Einleitung der Zündung vorhanden, der auch bei mangelnder Zerstäubung den Arbeitsvorgang einleiten kann.

Die Erfüllung der zweiten Forderung, gleichmäßige und feine Zerstäubung des Treiböles über den ganzen Brennraum, war mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Ein aus einer Bohrung austretender Flüssigkeitsstrahl behält die geschlossene Form bei und zerfällt nur wenig in einzeln abspritzende Tropfen. Erst bei der Anwendung sehr hoher Drucke tritt eine gewisse Zerstäubung ein, die das Treiböl in kleine Tropfen zerreißt. Um diese hohen Drucke von 300 ... 600 at zu erreichen, müssen die Bohrungen, durch die das Treiböl zugeführt wird, sehr klein (≈ 0,1 bis 0,3 mm) sein. Es genügt auch nicht eine Bohrung, um das Treiböl über den Raum zu verteilen, sondern die Düsenplatten besitzen mehrere Bohrungen, die schirmförmig das Treiböl ausspritzen lassen. Diese engen Bohrungen neigen zum Verstopfen und zum Koksansatz beim Nachtropfen des Treiböles. Sobald die Düsen nicht mehr frei sind, tritt schlechte Verbrennung bzw. Aussetzen der Zündung ein. Besonders bei kleinen Zylinderleistungen wird die einzuspritzende Treibölmenge so klein, daß die Gefahr einer ungenügenden Zerstäubung besteht. Man suchte daher nach Arbeitsverfahren, bei denen diese Nachteile fortfielen (Vorkammer-, Nachkammer- und Luftspeichermaschinen).

Unmittelbare Pumpeneinspritzung wird fast ausschließlich bei größeren Motoren angewandt. Sie ergibt den günstigsten Treibölverbrauch (≈ 165 g/PSeh).

Die Motoren sind jedoch empfindlich gegen Treibölverunreinigungen und Treibölwechsel. Die Zündungen setzen hauptsächlich bei Schnelläufern hart ein und können zu starken Beanspruchungen der Triebwerksteile führen.

2. Das Vorkammerverfahren (Abb. 78)

Bei diesem Verfahren verbrennt zunächst eine kleine Treibölmenge in einer besonderen Vorkammer. Die hierdurch entstehende Drucksteigerung wird zur Zerstäubung und Verteilung des übrigen Treiböles herangezogen. Diese Vorkammer ist im Zylinderdeckel untergebracht und mit dem Hauptverbrennungsraum durch mehrere Bohrungen von 3 ... 5 mm Durchmesser verbunden. Beim Verdichtungshub pflanzt sich der Verdichtungsdruck im Zylinder durch die Bohrungen in die Vorkammer fort. Kurz vor der oberen Totlage des Kolbens wird das Treiböl in die Vorkammer eingespritzt.

Das zuerst durch die geöffnete Düse eintretende Treiböl entzündet sich und verbrennt unter Druck- und Wärmeentwicklung. Das weiter nachtretende Treiböl findet in der Vorkammer keinen Sauerstoff mehr vor, es wird aber durch die hohe Temperatur verdampft, zersetzt und so für die nachfolgende Hauptverbrennung aufbereitet. Durch den Druckanstieg infolge der Vorverbrennung in der Kammer wird das vergaste Treiböl zusammen mit den heißen Verbrennungsgasen durch die Bohrungen der Brennkapsel in den Verdichtungsraum des Zylinders eingeblasen. Dort findet es den nötigen Sauerstoff zur Verbrennung vor.

Die Verdichtung wird in den Vorkammermotoren weiter getrieben als in den Motoren mit Strahlzerstäubung. Gewöhnlich erreicht sie eine Höhe von 32 ... 40 at. Bei der Verbrennung tritt eine weitere Druckerhöhung auf etwa 40 ... 50 at ein.

Ein Nachteil der Vorkammermotoren ist darin zu erblicken, daß sie im kalten Zustande nicht ohne weiteres in Betrieb genommen werden können, weil die im Deckel sitzende und dort stark gekühlte Vorkammer bei den ersten Verdichtungshüben so viel Wärme aufnimmt, daß die Luft nicht sofort auf Zündtemperatur kommt. Man benutzt daher beim Anfahren von Vorkammermotoren zum Einleiten der ersten Zündungen glimmende Lunten aus Papier, das mit einer Salpeterlösung getränkt wird, oder auch eine Widerstandsspirale, die durch einen elektrischen Strom zum Glühen gebracht wird.

Bei den Vorkammermotoren erfolgt die Treiböleinführung durch geschlossene Düsen. Die Düsenplatte wird als Einlochplatte ausgebildet.

Die Bohrung hat ≈ 2 ... 3 mm Durchmesser und wird von einem Ansatz der Treibölnadel bei jedem Arbeitsspiel wieder durchstoßen, so daß ein Verkoken der verhältnismäßig großen Bohrung nicht eintreten kann.

Die Düsenöffnungsdrucke betragen etwa 60 ... 120 kg/cm². Der Vorkammermotor findet bei Schnelläufern und bei Motoren kleiner und mittlerer Leistungen die weiteste Verwendung. Neuerdings ist es durch besondere Einrichtungen der Vorkammer gelungen, selbst Teeröl in schnellaufenden Motoren einwandfrei zu verbrennen.

Bei den älteren Bauausführungen wurde die Vorkammer in die Mitte des Brennraumes eingesetzt. Neuerdings verlegt man die Kammer an eine Zylinderseite und ordnet die Bohrungen in der Brennkapsel so an, daß sie über dem Kolben einseitig ausblasen. Die Anordnung hat den Zweck, eine gute Wirbelung des Treiböldampfes mit der verdichteten Luft zu erreichen, da hierdurch eine bessere Verbrennung unter geringerem Luftüberschuß erreicht wird (MWM-R-Bootsmotor).

Vorteile des Vorkammermotors

1. Geringer Treibölpumpendruck,
2. unempfindlich gegen Treibölwechsel; kein Verkoken und Dichtwachsen der Düsenbohrungen, weiches Einsetzen der Zündung,
3. bei allen Belastungen und Drehzahlen gleich gute Zerstäubung des Treiböles.

Nachteile

1. Springt im kalten Zustande nicht an, daher Glühspiralen oder Lunten beim Anfahren nötig,
2. Verdichtung muß höher getrieben werden,
3. eignet sich nur für kleine und mittlere Leistungen,
4. höherer Treibölverbrauch (etwa 200 g/PSeh) infolge der Vorverbrennung und größerer Wärmeabfuhr durch die vergrößerte Kühlfläche der gekühlten Vorkammer.

Der Vorkammermotor kann als Viertakt- oder Zweitaktmotor gebaut werden. Die letztere Bauart ist aber ungebräuchlich.

3. Das Nachkammerverfahren (Abb. 79)

Im Zylinderkopf befindet sich der Hauptverbrennungsraum „a" und die Nach- oder Luftkammer „b", die durch drei Bohrungen miteinander verbunden sind. Geht der Kolben im Verdichtungshub aufwärts, so drückt er die Luft im Hauptverbrennungsraum und in der Nachkammer zusammen. Die Einführung des Treiböles erfolgt durch eine Einlochdüse.

Zum Verständnis der Arbeitsweise muß man sich die Vorgänge bei der Verbrennung nach dem Schaubild klarmachen. Schon vor dem oberen Totpunkt wird fast die Hälfte der gesamten Treibölmenge eingespritzt. Dieses Treiböl entzündet sich schlagartig, wenn der Kolben im oberen Totpunkt steht. Die Verbrennungslinie steigt stark an bis auf etwa 60 at. Der Druck pflanzt sich durch die Bohrungen in die Kammer fort. Beim Abwärtsgang des Kolbens fällt der Druck im Hauptverbrennungsraum, so daß nunmehr ein Rückströmen der Luft bzw. der Verbrennungsgase aus der Nachkammer in den Brennraum eintritt. Das noch nach dem oberen Totpunkt durch diese Düse eintretende Treiböl verbrennt also bei fallendem Druck.

Durch das Nachblasen der Nachkammer, die seitlich vom Brennraum angeordnet ist, entsteht eine Wirbelung, die eine gute Vermischung des Treiböles mit der Luft bewirkt. In die Nachkammer wird also zum Unterschied von dem Vorkammerverfahren kein Treiböl eingespritzt. Ältere Ausführungen von Nachkammermotoren haben zwei Nachkammern, die beim Anfahren abgeschaltet werden können. Hierdurch wird der Verdichtungsraum verkleinert, der Verdichtungsenddruck und die Temperatur erhöht, so daß die Zündungen eingeleitet werden, auch wenn der Motor kalt und die Treibölverteilung nur mangelhaft ist.

4. Das Luftspeicherverfahren (Abb. 80)

Der Luftspeicher steht mit dem Verdichtungsraum durch einen Trichter in Verbindung, der am unteren Rand eine Drosselstelle bildet (Gitter).

Beim Abwärtsgang des Kolbens entsteht infolge der damit verbundenen sehr raschen Vergrößerung des Verdichtungsraumes ein großer Druckunterschied zwischen Luftspeicher und Verbrennungsraum, so daß die hochgespannte Verbrennungsluft aus dem Trichter herausströmt und das eingespritzte Treiböl durchwirbelt. Dieses kann also mit verhältnismäßig niedrigem Druck (≈ 60 at) eingespritzt werden, weil der austretende Luftstrom die weitere Zerstäubung besorgt.

Der zwischen Luftspeicher und Verdichtungsraum entstehende Druckunterschied steigt mit der Drehzahl des Motors, und damit steigt auch die Luftgeschwindigkeit vom Speicher zum Trichter hin. Diese Erscheinung ist im Betrieb bei wechselnden Drehzahlen wesentlich, da durch die hohe Luftgeschwindigkeit auch bei hohen Drehzahlen vollkommene Verbrennung erreicht wird.

Das Gitter wird im Betrieb sehr heiß. Das gegen das Gitter gespritzte Treiböl verdampft und verbrennt ohne großen Zündverzug. Die im Luftspeicher befindliche Luft reißt das aufbereitete Treiböl in den Verbrennungsraum zurück. Da es mit hoher Geschwindigkeit einseitig durch das Gitter eintritt, so erfolgt auch die Mischung mit der Verbrennungsluft ähnlich wie beim Nachkammerverfahren.

Das Anfahren wird bei den Luftspeichermotoren dadurch ermöglicht, daß man eine Glühspirale in den Luftspeicher einführt.

5. **Das Lanova-Verfahren** (Abb. 83 und 84)

Das Lanova-Verfahren vereinigt Vorkammer- und Luftspeicherverfahren. Zur Treiböleinspritzung wird eine Zapfendüse gebraucht, die das Treiböl waagerecht in den Verbrennungsraum spritzt. Der Treibölstrahl wird wie bei allen Einlochdüsen nicht vollkommen und gleichmäßig zerstäubt, die größeren Treiböltropfen, die in Richtung der Düsen hineingeschleudert werden, treffen in die Kammer c, in der die Verbrennung bei starkem Druckanstieg wie in der Vorkammer erfolgt. Der Druck pflanzt sich in die Kammer d und in den Brennraum b fort, in dem ebenfalls schon eine Verbrennung desjenigen Treiböles eingesetzt hat, das nicht in die Kammer c gelangt ist. Der Druck in der Kammer c steigt bis auf ≈ 80 at an, während der Zünddruck im Brennraum $\approx 40 \ldots 50$ at beträgt. Kammer c und d werden nur bei der nach dem oberen Totpunkt stattfindenden Treiböleinspritzung nach dem Brennraum b entgegen der Treibölstrahlrichtung ausblasen. Hierdurch wird die angestrebte Luftbewegung erreicht, die durch die Formgebung des Verbrennungsraumes noch unterstützt wird.

Beim Anfahren kann die Kammer d abgeschaltet werden, so daß eine Verkleinerung des Verdichtungsraumes erfolgt.

Das Lanova-Verfahren wird für kleinste Zylinderleistungen angewandt. Es wird hierdurch ein weiches Einsetzen der Zündungen bei weitgehendster Belastungsänderung erreicht.

Abb. 84 zeigt ein Schaubild des Druckverlaufes in der Brennkammer c und im Hauptverbrennungsraum b.

6. **Das Wälz- und Wirbelkammerverfahren** (Abb. 81 und 82)

Diese beiden Verfahren bezwecken die Einleitung einer Wirbelung der Ladeluft schon beim Verdichtungshub. Die Wirbel- und Wälzkammer sind einseitig zur Zylindermitte im Zylinderkopf angeordnet. Sie bilden fast den ganzen Verdichtungsraum und stehen mit dem Zylinderraum durch einen Hals in Verbindung, der düsenförmig in den Zylinderraum einmündet. Beim Aufwärtsgange des Arbeitskolbens wird die Luft durch den Kammerhals in die Kammer gedrückt und nimmt hier, durch ihre Form gezwungen, eine Wirbelbewegung an. Durch die Zapfendüse wird kurz vor dem oberen Totpunkt das Treiböl in den Luftwirbel eingespritzt.

Die einsetzende Verbrennung läßt die Brenngase aus der Kammer einseitig über den Brennraum ausblasen, so daß auch hier eine gewisse Bewegung der Ladung und damit die beabsichtigte Mischung von Treiböl mit Luft eintritt.

Beim Oberhänsli-Motor ragt eine Glühzunge (b) in die Wirbelkammer (a) hinein, die beim Betriebe hohe Temperaturen annimmt und damit das auftreffende Treiböl verdampft. Eine Glühspirale (c) kann beim Anfahren die Luft anheizen.

Der Treibölpumpendruck beträgt ≈ 80 at.

Alle vorgenannten Verfahren benutzen Einlochdüsen und arbeiten mit geringeren Treibölpumpendrucken, so daß gegenüber der reinen Druckeinspritzung betriebstechnische Vorteile vorhanden sind, auch wenn der Treibölverbrauch höher ist als bei reiner Strahlzerstäubung.

7. **Weitere Zerstäubungsverfahren mit Luftwirbelung**

Bei dem Dieselmotor mit luftloser Einspritzung von Krupp in Essen wird die Durchwirbelung der Verbrennungsluft und das Aufprallen der Treibölstrahlen auf einen besonderen Prallkörper zur Verbesserung der Strahlzerstäubung herangezogen. In Abb. 85 ist ein schematischer Zylinderschnitt dieser Maschine gezeigt. Das durch eine geschlossene Vierlochdüse eingespritzte Treiböl trifft tangential auf die gewölbte Kappe eines pilzförmigen Kolbeneinsatzes und wird dadurch in feinste Teilchen zersprüht. Da der Pilzeinsatz nur in seinem zylindrischen Teil am Kolben anliegt, im übrigen aber die unmittelbare Berührung vermieden ist, wird die Wärmeableitung an den Kolben und damit an die Zylinderwand künstlich beschränkt. Die Temperatur des Pilzes ist im Betriebe ziemlich hoch. Nur so kann man es unternehmen, das Treiböl direkt gegen die Kappe zu spritzen, ohne Koksablagerungen befürchten zu müssen.

Um eine möglichst schnelle und vollkommene Mischung des zerstäubten Treiböles mit der Verbrennungsluft zu erreichen, wird bei diesen Motoren außerdem noch die Luftladung in eine kreisende Bewegung versetzt. Ein Teil des Einlaßquerschnittes wird abgeschirmt und damit der mit hoher Geschwindigkeit in den Zylinder gesaugten Luft eine kreisende Bewegung gegeben, die sich nachweislich auch während des Verdichtungshubes nicht verliert. Durch diese Drehung der Verbrennungsluft wird das in vier Strahlen eingespritzte Treiböl schirmartig über das ganze Luftkissen verteilt. Die Umfangsgeschwindigkeit des Luftkissens läßt sich durch die Größe des Abschirmwinkels beeinflussen. Sie darf nur so groß sein, daß während der Verbrennung die Treibölteilchen des einen Strahles nicht in den Bereich des nächsten gebracht werden.

Bei der Maschine von Krupp ist durch die günstige Verteilung des Treiböles infolge der Wirbelung und durch die Zündwirkung des warmen Pilzes der Zündverzug derart klein geworden, daß Gleichdruckverbrennung bei gutem Treibölverbrauch möglich wird. In Abb. 86 sind einige Einspritzverfahren dargestellt.

C. Die Treibölpumpen der Einspritzdieselmotoren

Allgemeines

Die Treibölpumpen der Einspritzmotoren müssen folgende Betriebsbedingungen des Einspritzvorganges beherrschen:

1. genaue Abmessung der Treibölmenge, dem Belastungszustand des Motors entsprechend;
2. zeitlich richtige Einspritzung, der Drehzahl entsprechend.

Der Pumpenantrieb erfolgt durch Nocken, deren Formgebung den verlangten schnellen Druckanstieg bei Beginn der Treibölförderung gewährleistet. Durch eine starke Feder wird der Pumpenstempel beim Ablauf vom Nocken abwärts bewegt, so daß hierdurch der Saugehub entsteht, soweit das Treiböl nicht unter Druck zugeführt wird.

Alle Treibölpumpen arbeiten mit hohen Drucken, es ist daher kein Dichtungsmaterial verwendet, sondern die Pumpenkolben sind metallisch in Laufbuchsen eingeschliffen. Beim Undichtwerden eines Kolbens müssen Pumpenstempel und Laufbuchse zusammen ausgewechselt werden.

Die Fördermenge der Pumpe ist so bemessen, daß etwa das Zwei- bis Dreifache der Treibölmenge gefördert wird, die im Arbeitszylinder theoretisch verbrannt werden kann. Es muß aber die zuviel geförderte Treibölmenge durch besondere Einrichtungen der Pumpe wieder in den Saugeraum zurückfließen können bzw. der Pumpenstempel muß so beeinflußt werden, daß er nicht die volle Menge in den Verbrennungsraum fördern kann.

Durch die Änderung der Treibölmenge wird die Leistung des Motors geregelt.

Man unterscheidet folgende Regelungsarten:

1. die Schrägnockenregelung,
2. die Nadelventilregelung,
3. die Überströmventilregelung,
4. die Schrägkantenregelung.

Zu 1. Der Hub des Treibölpumpenkolbens und damit die geförderte Treibölmenge wird dadurch geändert, daß der Antriebsnocken der Pumpe verschiebbar eingerichtet ist und Nocken und Rolle abgeschrägt sind. Diese Regelung ist für die Handverstellung gut brauchbar, für die Verstellung durch den Regler ist der Druck des schrägen Nockens bei Vergrößerung der Leistung nachteilig. Einzeleinstellung ist bei Mehrzylindermotoren nicht möglich. Beginn der Förderung ist gleichbleibend, Ende veränderlich. Gebaut wird diese Regelungsart hauptsächlich von der Firma Deutz.

Zu 2. Bei dieser Regelung ist das Überströmventil als Nadel ausgebildet. Sie wird durch ein steiles Gewinde mehr oder weniger geschlossen. Das Treiböl tritt in den Saugeraum zurück. Diese Einrichtung kann sehr leicht betätigt werden, hat aber den Nachteil, daß der Einspritzdruck bei Entlastung des Motors abnimmt. Sie kommt für reine Strahlzerstäubung nicht in Frage. Beginn und Ende der Förderung sind gleichbleibend. Pumpen mit dieser Regelart finden bei Vorkammermotoren der MWM Verwendung.

Zu 3. Je nach Belastung wird das Überströmventil später oder früher während des Druckhubes zwangsläufig geöffnet, wodurch ein Teil des geförderten Treiböles in den Saugeraum zurückfließen kann. Gesteuert wird das Überströmventil vom Antrieb des Pumpenkolbens mittels Hebelübertragung. Der Drehpunkt des Hebels ist ausmittig gelagert und kann von Hand und durch den Regler verlegt werden. Das Überströmventil ist zwischen Sauge- und Druckventil der Pumpe angeordnet, um die Treiböldruckleitung zu entlasten. Beginn der Förderung ist gleichbleibend, Ende veränderlich. Diese Regelart finden wir bei Pumpen der Firmen MAN, MWM und Deckel.

Zu 4. Die Bemessung des Treiböles erfolgt hier durch den Pumpenkolben selbst. Er wird verdreht und gibt dann durch Nuten eine Verbindung zwischen Druck- und Saugeraum frei. Diese Regelung erfordert sehr wenig Kraft zu ihrer Betätigung und wird sehr viel verwendet.

Beginn der Förderung ist gleichbleibend, Ende veränderlich. Angewendet wird diese Regelart bei den Bosch-Pumpen, Treibölpumpen für Marinemotor, Junkerspumpen und bei Pumpen der Firma Deutz.

Im folgenden sollen die Treibölpumpen einzelner Werke und ihre Einstellung beschrieben werden.

a) Die Treibölpumpe der MWM mit Überströmventilreglung (Abb. 88)

Die Pumpe arbeitet mit Überströmventilregelung, d. h. durch früheres oder späteres Öffnen eines Überströmventils am Ende des Druckhubes. Die Pumpe wird durch einen Nocken angetrieben, der steil ansteigt und langsam abfällt. Dadurch erhält man gleich bei Beginn des Druckhubes den hohen Pumpendruck und durch das langsame Abgleiten einen guten Saugehub. Der Nocken treibt eine Rolle an, die von einem gabelartigen Hebel gehalten wird. Der Drehpunkt dieses Hebels ist seitlich aus der Mitte gelagert, wodurch die Rolle verschoben werden kann. Das Verschieben der Rolle in Nockendrehrichtung ergibt Spätzündung, entgegengesetzt der Drehrichtung Frühzündung.

Der Pumpenkolben bewegt einen Steuerbalken, dessen Ende so aufgehängt ist, daß er nach oben oder unten durch eine Scheibenkurbel verlegt werden kann. In der Mitte beeinflußt der Steuerbalken das Überströmventil, und zwar derartig, daß bei der Hochlage des Endpunktes der Steuerbalken das Überströmventil früher öffnet, also mit kleiner Füllung arbeitet. In der niedrigen Lage des Endpunktes tritt volle Füllung ein.

Über dem Saugeventil befindet sich eine Abstellvorrichtung. Mit dieser kann das Saugeventil geöffnet und in dieser Stellung festgehalten werden.

Einstellung der Pumpe

Wenn sich in der ersten Betriebszeit in den aufeinanderliegenden Druckstücken der Treibölpumpen kleine Druckflächen bilden, so ändert sich auch die Füllung des betreffenden Zylinders. Die Pumpe ist dann nachzuregeln.

Die Einstellung der Treibölpumpe erfolgt am besten nach dem sogenannten Null- oder Abstellpunkt. Man geht in folgender Weise vor:

Zunächst wird die Kurbel des betreffenden Zylinders, dessen Treibölpumpe eingestellt werden soll, in der Drehrichtung so gedreht, daß sie im Verdichtungshub etwa 90° vor dem oberen Totpunkt steht. Man erkennt es daran, daß Ein- und Auslaßventile geschlossen sind und der entsprechende Treibölnocken kurz vor der Nockenrolle steht. Die Motorsteuerung legt man auf „Betrieb", die Treiböleinstellung auf „Vollast". Nun entlüftet man die Treibölpumpe und Druckleitung und probiert dann mit kurzen aufeinanderfolgenden Hüben mittels des Vorpumphebels, ob die Pumpe noch hart arbeitet und dreht gleichzeitig die Treibölpumpenregelwelle am Fahrstand langsam von Vollast auf Null.

Kurz vor Erreichung der Nullpunktlage muß plötzlich der Vorpumphebel ohne nennenswerten Widerstand niedergedrückt werden können, d. h. das Überströmventil wird gerade geöffnet, die Pumpe fördert nicht mehr. Dieser Nullpunkt soll einige Grade vor Stopplage liegen.

Eine weitere Möglichkeit der Kontrolle besteht darin, daß man den Steuerbalken von Hand anhebt und fühlt, ob das Überströmventil geschlossen ist. Man kann genau den Unterschied der beiden zum Öffnen anzuhebenden Federn fühlen. Das Überströmventil wird geöffnet, wenn die obere Feder gerade angehoben wird.

b) Die Treibölpumpe der MWM mit Nadelventilregelung (Abb. 90)

Bei kleineren Leistungen, hauptsächlich bei Dieselgeneratoren mit gleichbleibender Drehzahl oder kleinen Bootsmotoren, verwenden die MWM Treibölpumpen mit Nadelventilregelung. Der Antrieb erfolgt durch Nocken. In den Stößel greift ein Handhebel (Abb. 87). Dieser dient außer zum Vorpumpen auch zum Abstellen der Pumpe und wird dann nach unten gedrückt; hierdurch kommt der Stößel aus dem Bereich des Nockens. Die Spindel des Nadelventils trägt Steilgewinde und kann durch Gestänge und Hebel vom Regler und von Hand verstellt werden. Es wird dadurch eine Verbindung zwischen Druck- und Saugeraum hergestellt.

Die Einregelung der Nadelventilpumpe erstreckt sich auf zwei Punkte:

a) Die Einstellung des gleichen Pumpenhubes für alle Zylinder,
b) die Einstellung der gleichen Öffnungsquerschnitte der Nadelventile.

Zu a) Die Einstellung erfolgt bei tiefster Stellung des Pumpenkolbens; dann soll zwischen Pumpenkolben und Stößel 1 mm Lose sein. Durch die Hubbegrenzungsschraube am Pumpenkolben kann die Lose verstellt werden.

Zu b) Eine Einstellung des Nadelventils erfolgt nach der Zeichnung an der Stirnseite der Spindel. Müssen die Nadeln neu eingestellt werden, so werden die Klemmschrauben des Reglergestänges von den Nadelventilen gelöst. Der Sicherheitsregler wird in Betriebsstellung gelegt. Nun sind alle Nadelventile mit einem Schraubenzieher leicht auf ihren Sitz zu schrauben. Ein zu scharfes Anziehen ist zu vermeiden. Nun werden die Nadeln, Einstellmarke der Nadel mit Marke des Reglergestänges in Einklang gebracht. Durch Anziehen der Klemmschrauben wird das Reglergestänge wieder mit den Nadelventilen verbunden. Die Nadelventile lagern in einer Hülse, die das Steilgewinde trägt. In der Hülse befindet sich eine Feder, die das Nadelventil nach vorne drückt. Wird beim Einstellen das Nadelventil zu fest auf seinen Sitz gedrückt, so wird die Feder zusammengepreßt. Dadurch erhält der Zylinder zuviel Treiböl, die Belastung der einzelnen Zylinder wird ungleich.

Das Reglergestänge wird dann mit dem Sicherheitsregler so verbunden, daß die Nadeln in Ruhestellung des Reglers nicht ganz geschlossen sind. Die endgültige Einstellung kann erst bei laufendem Motor erfolgen.

c) Die Treibölpumpe der MAN mit Überströmventilregelung (Abb. 89)

Aufbau:

(1) Führungsbuchse
(2) Sprengring
(3) Federteller
(4) Feder
(5) Kolben
(6) Antriebshebel
(8) Hebel
(9) Führungsbuchse
(10) Überströmkanal
(11) Überströmventilkegel
(12) Druckventil
(14) Nippel in der Druckleitung
(15) Entlüftungsschraube
(16) Saugeventil
(17) Druckkanal
(18) Überströmkanal
(19) Saugeraum
(20) Verbindungsstange
(22) Reglergestänge

Wirkungsweise:

Beim Niedergang des Kolbens (Saugehub) wird durch das Saugeventil (16) Treiböl aus der Zuleitung angesaugt. Beim Aufwärtsgang des Kolbens (Druckhub) tritt das Treiböl durch den Kanal (17) nach dem Anheben des federbelasteten Druckventils (12) in die Druckleitung zum Treibölventil. Das Förderende wird durch das Öffnen des Überströmventils (11) gesteuert. Der Antrieb des Überströmventils erfolgt durch die Führungsbüchse (1) über den Hebel (6), dessen Drehpunkt mittels Regelexzenter und Hebel (8) so verstellt werden kann, daß das Überströmventil den Förderhub früher oder später unterbrechen kann. Bei 0-Füllung öffnet das Überströmventil sofort bei Beginn der Aufwärtsbewegung des Pumpenkolbens, und das angesaugte Treiböl strömt durch den Kanal (10) über das Überströmventil und Kanal (18) nach dem Saugeraum (19) zurück. Der Hebel (8) ist über das Regelgestänge an den Regler angelenkt.

Einstellung der Pumpen

Die einzustellende Pumpe wird in den unteren Totpunkt, also vor Beginn des Druckhubes gestellt und die Verbindungsstange (20) mittels der beiden Muttern so eingestellt, daß die Führungsbüchse (9) den Überströmventilkegel (11) gerade berührt.

Die vorgeschriebene Einstellmethode wird nur beim erstmaligen Einstellen der Pumpen und nach einer größeren Überholungsarbeit vorgenommen. Wenn nur eine einzelne Pumpe ausgewechselt wird, stellt man einfach den Treibölregelhebel (22) auf Nullfüllung, schaltet die Pumpe an der Verbindungsstange (20), wie oben beschrieben, ein. Die genaue Einstellung erfolgt im Betrieb auf Grund der Schaubilder bzw. Auspufftemperaturen. In der jedem Motor beigefügten Einstelltabelle ist in den Einstelldaten der Hub des Treibölpumpenstempels im oberen Totpunkt des betreffenden Hauptkolbens angegeben. Diese Art der Einstellung ist einfacher, wenn ein Tiefenmaß oder noch besser eine Meßuhr zur Verfügung steht.

Entlüftung der Pumpen

Hierzu ist eine Schraube (15) zu öffnen, wodurch sich der Treibölraum in der Pumpe entlüften kann.

d) Die Bosch-Treibölpumpe (Abb. 91, 92 und 87)

Die Bosch-Treibölpumpen sind Kolbenpumpen, die das Treiböl in einstellbarer und für einen gegebenen Betriebszustand genau gleichbleibender Menge dem Motor zuführen. Sie arbeiten mit Schrägkantenregelung. Die Pumpenkolben werden durch Nocken angetrieben und arbeiten mit unveränderlichem Hub.

Die Pumpen bestehen aus dem Kolben (1) und dem Zylinder, der durch ein federbelastetes Druckventil (2) abgeschlossen ist. Mit Hilfe der Regelstange (6) können die Pumpenkolben während des Betriebes verdreht werden, wodurch die Fördermenge der Pumpe verändert wird. Im oberen Teil des Gehäuses befindet sich der Saugeraum (d), der durch eine Zulaufleitung mit dem höher angeordneten Treibölbehälter und durch zwei kleine Bohrungen (b und c) mit dem Saugeraum des Pumpenzylinders verbunden ist.

Wirkungsweise:

Beim Abwärtsgang des Kolbens 1 füllt sich der über dem Pumpenstempel gelegene Druckraum mit Treiböl, nachdem die Kante a die zum Saugeraum führenden Bohrungen c und d freigegeben hat. Beim Aufwärtsgehen des Stempels 1 wird zunächst eine kleine Menge Treiböl in den Saugraum zurückgedrückt, bis der Kolben die Öffnungen b und c überdeckt hat. Von dieser Stellung an fördert die Pumpe das Treiböl nach Anheben des Druckventils 2 zum Treibölventil.

Diese Förderung dauert so lange an, bis die schräg in den Pumpenstempel eingefräste Nute e dem unter Druck stehenden Treiböl das Zurückfließen in den Saugraum d ermöglicht. Wird der Pumpenstempel gedreht und dabei die Lage der Nute e gegenüber dem feststehenden Loch c verändert, so wird die Dauer des Förderhubes und damit die Fördermenge selbst verändert. Bei Beendigung des Druckhubes setzt sich das Rückschlagventil 2 unter Einwirkung der Feder 3 auf einen Sitz 4 auf, wobei der unter dem Ventilsitz befindliche Druckentlastungskolben in den Ventilkörper zurücktritt und hierdurch das Volumen in der Druckleitung vergrößert. Dadurch wird diese entlastet.

Die Verdrehung des Pumpenstempels 1 und damit die Veränderung der Fördermenge geschieht durch die Zahnstange 6. Diese greift in das verzahnte Klemmstück 5 ein, das durch die Klemmschraube fest auf die Reglerhülse aufgeklemmt ist. Die richtige durch Versuche festgelegte Lage des Klemmstückes 5 gegenüber der Reglerhülse ist durch eine Strichmarke f gekennzeichnet. Die Reglerhülse greift mit Schlitzen in die Mitnehmerflügel des Pumpenstempels 1 über. Zum Entlüften der Pumpe ist die dem Sauganschluß gegenüberliegende Verschraubung so weit zu lösen, daß das Treiböl aus der in der Schraube befindlichen Bohrung in einem geschlossenen Strahl ohne Luft austritt.

Antrieb der Treibölpumpe

Angetrieben wird die Treibölpumpe durch die Nockenwelle 10, Rolle und Stößel 9. In den Stößel ist die durch Gegenmutter gesicherte Schraube 8 eingeschraubt, die auf Hülse und Federteller der Pumpe drückt. Durch Hoch- und Niederdrehen dieser Schraube kann der Pumpenstempel 1 angehoben und gesenkt werden. Die Überdeckung der Bohrungen b und c durch den Pumpenstempel tritt dadurch früher oder später ein, was die Verstellung des Spritzbeginns jedes einzelnen Zylinders ermöglicht.

Die Entlastung der Druckleitung

Sobald die Schrägkante B (Abb. 87) des Kolbens die Saugebohrung frei gibt, sinkt der Druck im Pumpenzylinder. Der in der Druckleitung bestehende höhere Druck und die Ventilfeder 3 (Abb. 92) drücken das Druckventil 2 auf seinen Sitz. Es schließt jetzt die Druckleitung gegen den Pumpenzylinder ab, bis zum nächsten Druckhub die Treibölförderung erneut beginnt.

Das Druckventil hat ferner die Aufgabe, die Druckleitung zu „entlasten". Eine Entlastung der Druckleitung ist nötig, um ein rasches Schließen des Treibölventils zu erreichen und ein Nachtropfen des Treiböles in den Verbrennungsraum zu vermeiden. Sie wird durch eine besondere Bauart des Druckventils erreicht.

Das Druckventil (Abb. 92) ist mit seinem Schaft im Ventilkörper 5 geführt. Beim Fördervorgang wird es von seinem Sitz gehoben (Abb. 92 rechts), so daß das Treiböl durch die in einer Ringnute endigenden Längsnuten in die Druckleitung eintreten kann. Oberhalb der Ringnute ist noch ein kurzes zylindrisches Schaftstück ausgearbeitet (Tauchkölbchen 2), das saugend in den Ventilkörper paßt und an das sich der Ventilkegel anschließt. Beim Schließen des Druckventils am Ende der Förderung taucht zunächst das über der Bohrung liegende Kölbchen in den Ventilkörper ein. Dann erst schließt der Kegel des Ventils. Dabei vergrößert sich der Raum der Druckleitung um den Hub des Tauchkölbchens. Das Treiböl in der Druckleitung kann sich dadurch entspannen und die Düsennadel rasch schließen.

Spritzversteller

Der Spritzverteiler dient zum Einstellen von Früh- bzw. Späteinspritzung durch Verdrehen der Pumpenwelle. Durch Verstellen des Gestänges wird eine Verstellgabel bewegt und eine Schiebemutter gradlinig auf der Nabe der Kupplungshälfte verschoben. Die Schiebemutter verdreht dabei mit ihrem Steilgewinde die Steilgewindenuß und verdreht so die Pumpenwelle.

Regler

Der Regler ist ein Fliehkraftregler, der die Leerlaufdrehzahl gleichmäßig hält und die Höchstdrehzahl begrenzt. Er arbeitet mit zwei Fliehgewichten, deren Muffenverschiebung auf die Regelstange übertragen wird ohne Rücksicht auf die Stellung des Treibölhebels.

Einregeln der Pumpe

Beim Einbau der Pumpe ist darauf zu achten, daß die 0-Zeichen an den Flanschen und dem Zwischenstück übereinstimmen. Der erste Pumpenkolben steht auf Förderbeginn für Rechtslauf, wenn die Marke R am Flansch mit der Strichmarke S an der Pumpe oder dem Gehäuse des Spritzverstellers übereinstimmen. (L für Linkslauf der Pumpe.)

Ein Verstellen der Pumpe soll nach Möglichkeit vermieden werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit, durch Verstellen der Strichmarke f nach Lösen des Klemmstückes 5 den Pumpenstempel zu verdrehen. Hierdurch wird die pro Hub geförderte Treibölmenge verändert. Durch Verdrehen der Schraube 8 kann eine Verstellung des Spritzbeginns erreicht werden.

e) Die Treibölpumpe von Deckel (Abb. 93)

Die Deckel-Treibölpumpe ist eine Pumpe mit Überströmventilregelung. Füllung- und Zündhebel sind auf einer Doppelscheibenkurbel gelagert und während des Betriebes verstellbar. Nockenwellen und Laufrollen sind in Wälzlager eingebaut.

Wirkungsweise:

Die im Pumpengehäuse 1 in Rollenlagern laufende Nockenwelle 2 versetzt die auf der Doppelscheibenkurbel 3 gelagerten Schwinghebel 4 durch die Rolle 6 in auf- und abwärtsgehende Bewegung. Beim Abwärtsgang des Schwinghebels saugt der Kolben 12 durch das Saugeventil 5 aus dem Saugeraum des Öldeckels 7 das Treiböl an und drückt dasselbe beim Aufwärtsgang durch den Ölkanal über das Überströmventil 8 zum Druckventil 9. Von hier wird durch eine Druckleitung 10 das Treiböl dem Treibölventil zugeleitet. Bevor beim Aufwärtsgang der Schwinghebel die oberste Stellung erreicht, wird das Überströmventil 8 durch die Schraube 11 angehoben, und das Treiböl strömt in den Saugeraum des Öldeckels 7 zurück. Durch den hierbei im Ölkanal entstehenden Spannungsabfall schließt sich das Druckventil 9. Durch Verdrehen des mit der äußeren Buchse der Scheibenkurbel 3 durch Stift und Gleitschuh gekuppelten Füllungshebels wird der Schwinghebel gehoben oder gesenkt und dadurch das Überströmventil der Belastung entsprechend später oder früher geöffnet und dem Treibölventil bzw. dem Motorzylinder mehr oder weniger Treiböl zugeführt. Das Überströmventil 8 ist so ausgebildet, daß es bei verstopften Düsenbohrungen als Sicherheitsventil wirkt. Der Einspritzzeitpunkt wird durch Legen der inneren Scheibenkurbel beeinflußt.

Durch Legen eines Hebels wird die Rolle 6 horizontal mit dem Schwinghebel 4 verschoben. Frühzündung tritt ein, wenn die Rolle entgegen der Drehrichtung der Nockenwelle verschoben wird.

D. Spül- und Aufladeverfahren des Dieselmotors

I. Spülverfahren

Bei den Viertaktmotoren steht zum Ausschieben der Verbrennungsgase und zum Ansaugen der für den nächsten Arbeitshub benötigten Verbrennungsluft eine ganze Umdrehung des Motors zur Verfügung. Beim Zweitakt-Arbeitsverfahren muß dagegen Auspuff und Ladung mit frischer Luft auf einen möglichst kurzen Zeitraum beschränkt werden, da ein zu frühes Öffnen der Auslaßschlitze einen zu großen Arbeitsverlust nach sich zieht. Andererseits muß eine gute Spülung des Zylinders erfolgen, die Verbrennungsgase müssen fast restlos entfernt werden, wenn nicht im folgenden Arbeitshub ein ungünstiger Verbrennungsvorgang eintreten soll. Die Zeit zur Spülung und Aufladung ist außerordentlich kurz. Läuft z. B. ein Bootsmotor mit n = 1200 U/min, so steht für eine Umdrehung nur $^1/_{20}$ s zur Verfügung. Öffnen und schließen die Auslaßschlitze 40°, die Spülschlitze 20° vor und nach U.T., so muß Auspuff, Spülung und Ladung in einem Kurbelwinkel von 60° erfolgen, d. h. in einer Zeit von $^1/_{120}$ s. Dabei bleiben die Auslaßschlitze nach dem Schließen der Spülschlitze noch 20° Kw geöffnet.

Der Spülluftdruck darf hierbei nicht zu hoch getrieben werden, da die Wirbelung und damit das Zurückbleiben von Verbrennungsgasen bei Verwendung höherer Spülluftdrucke als 0,4 at begünstigt wird.

Gespült wird Verbrennungsraum zuzüglich Kolbenhubraum, also V, im Gegensatz zum Viertaktmotor, wo nur V_h mit Frischluft gefüllt wird. Für die vollkommene Spülung und Aufladung wird aber ein Spülluftüberschuß benötigt, der bei einer guten Spülung den Betrag von 1,3 · V nicht überschreiten soll.

Die Güte des Spülvorganges ist für die Arbeitsweise und den Wirkungsgrad eines Zweitaktmotors von ausschlaggebender Bedeutung. Es sind von den Baufirmen verschiedene Spülverfahren entwickelt worden, die im folgenden näher beschrieben werden sollen.

1. Die Gleichstromspülung

a) Die Gleichstromventilspülung (Abb. 94)

Bei der Gleichstromventilspülung tritt Spülluft durch besondere Spülventile oben in den Zylinderraum ein und streicht, die Abgase vor sich hertreibend, durch den Zylinderraum bis zu den unten befindlichen Auslaßschlitzen, ohne die Richtung zu ändern. Die Spülung ist die vollkommenste, sie verlangt aber eigene gesteuerte Spülventile großen Durchmessers, die sich im Zylinderdeckel nur schwer unterbringen lassen; sie wird daher nicht mehr gebaut.

b) Die Junkers-Spülung (Abb. 95)

Die Junkers-Spülung ist ebenfalls eine Gleichstromspülung. Durch Neigung der Spülkanäle oder Bohrungen wird der Spülluftstrom gedreht und geht schraubenförmig unter Bestreichung der Zylinderwandungen zu den Auspuffschlitzen. Die Hauptrichtung des Spülluftstromes bleibt also gleichgerichtet. (Tangentiale Gleichstromspülung.)

c) Die Spülung des Michel-Motors (Abb. 96)

Der Michel-Motor hat drei sternförmig angeordnete Zylinder. Der untere Kolben, der etwas vorläuft, steuert den Auspuff, die anderen beiden Kolben die Spülluft. Durch die doppelten Spülluftkanäle erfolgt schnelle und gründliche Luftzufuhr im Gleichstrom ohne Umkehr- oder Drehbewegung.

2. Die Querspülung (Abb. 97)

Im Zylinder liegen sich hierbei Auspuff und Spülschlitze gegenüber. Der Zutritt der Spülluft wird durch die Kolbenform oder durch die Neigung der Kanäle so geführt, daß der Zylinder möglichst vollständig gespült wird. Bei dieser Art der Spülung treten jedoch leicht Wirbel ein, so daß in der zurückbleibenden Ladeluft sich auch Abgasreste befinden, die den Wirkungsgrad der Verbrennung verschlechtern.

a) Die Querspülung der Germania-Werft (Abb. 98)

Während Abb. 97 zeigt, daß bei einer Querspülung ohne besondere Ablenkung sich viele schädliche Abgasnester bilden, zeigt uns Abb. 98 die Spülung der GW. mit Hilfsauslaß- und Hilfsspülschlitzen. Durch die Hilfsauslaßschlitze, die oberhalb der Spülschlitze liegen, wird eine Strömung innerhalb des Zylinders erzeugt, welche die Spülluft an die Zylinderwandungen leitet. Durch den Hilfsspülschlitz wird der Abgaskern in der Mitte des Zylinders zerstört.

b) Die Querspülung von Sulzer (Abb. 99)

Die Spülschlitze sind etwas nach oben geneigt und der Kolben ist so gebaut, daß die Spülluft nach oben umgelenkt wird. Durch Nachladeschlitze wird der Verlust an Ladeluft, der durch Schließen der Spülschlitze bei noch geöffneten Auslaßschlitzen eintreten würde, behoben. Die Nachladung geschieht entweder mit Spülluftdruck oder mit höherem Ladedruck bis 0,7 at. Die Nachladeventile müssen besonders gesteuert werden.

3. Die Umkehrspülung

a) Die einseitige Umkehrspülung der MAN (Abb. 100)

Einen sehr guten Wirkungsgrad des Spülvorganges erzielte zuerst die MAN mit der Umkehrspülung. Hier liegen die Spülschlitze unter den Auspuffschlitzen etwa auf dem halben Zylinderumfang verteilt. Die etwas nach unten gerichteten Spülkanäle streichen über den ausgehöhlten Kolben, gehen an der den Schlitzen gegenüberliegenden Wand nach oben und kehren auf der Deckelseite um. Der nach unten gerichtete Spülluftstrom streicht nun an der Vorderwand des Zylinders entlang und entweicht durch die obenliegenden Auspuffschlitze.

Da Spülschlitze und Auspuffschlitze in voller Höhe übereinanderliegen, so kann die Ladeluft entweichen, bis der Kolben die Auspuffschlitze überlaufen hat. Die MAN baut daher Drosselschieber in die Auspuffleitung ein, die den Auspuffkanal in dem Zeitpunkt abschließen, wo die obere Kolbenkante den Spülluftkanal überläuft (siehe Teil V: Marinemotor).

b) Die Tangentialspülung der AEG (Abb. 101)

Eine Sonderausführung der Umkehrspülung ist das Verfahren der AEG. Hier ist die Anordnung der Schlitze wie bei der Querspülung beibehalten. Die Luft wird jedoch einseitig tangential eingeblasen und wird nun schraubenförmig nach oben streichen. Am Kolbendeckel erfolgt die Umlenkung, und der nach unten geführte Spülluftstrom geht seitlich an dem aufsteigenden Luftstrom vorbei in die Auspuffschlitze.

c) Die Dreistromspülung der DKW (Abb. 102)

Die Dreistromspülung der Automobilmotoren der DKW ist ebenfalls eine Umkehrspülung. Die Spülluft tritt hier durch zwei Kanäle aus der Kurbelwanne in den Zylinder ein und streicht an der Rückwand des Zylinders nach oben. Die Umlenkung erfolgt am Zylinderdeckel, der halbkugelförmig ausgebildet ist.

II. Mittel zur Leistungssteigerung bei Dieselmotoren

1. Leistungssteigerung durch Pumpenfüllung

Durch die Überbemessung der Treibölpumpen ist es möglich, durch einfaches Legen des Treibölregelhebels über die Vollast hinaus eine Überbelastung jedes einzelnen Zylinders herbeizuführen. Die Bemessung des Zylinderraumes ergibt sich aus der für den Arbeitshub zu verbrennenden Treibölmenge unter Berücksichtigung eines gewissen Luftüberschusses. Dieser Luftüberschuß wird dadurch nötig, daß der Verbrennungsvorgang nur dann in der erforderlichen Zeit durchgeführt werden kann, wenn jedes Treibölteilchen sofort die nötige Verbrennungsluft vorfindet.

Bei der Zuführung des Treiböles im Gebiete der Überlast wird der Luftüberschuß kleiner, die Verbrennung erfolgt nicht mehr einwandfrei, und der Treibölverbrauch für die PSeh steigt an. Trotzdem fordert man allgemein von dem Motor, daß er auf etwa eine halbe Stunde mit 10% Überlast laufen soll.

Für eine längere Betriebszeit kann diese Forderung nicht gestellt werden, da infolge der weit höheren Abgastemperaturen die Wärmebeanspruchung der Zylinder, Kolben und Steuerorgane zu groß wird.

Diese Überlastung durch Pumpenfüllung tritt im Betriebe sehr oft bei einzelnen Zylindern dadurch auf, daß die Treibölpumpenförderung nicht für alle Zylinder gleichmäßig ist. Soll dann der Motor auf Vollast gebracht werden, so besteht die Gefahr, daß ein Zylinder dauernd hierbei überlastet wird. Die Farbe der Auspuffgase und die Abgastemperaturen müssen daher im Betriebe dauernd beobachtet werden. Die Treibölpumpen schwarzqualmender Zylinder sind auf kleinere Füllung einzustellen.

2. Leistungssteigerung durch Aufladung

a) Aufladung bei Viertaktmotoren

Allgemeines

Der Viertaktmotor saugt seine Verbrennungsluft aus der umgebenden Luft. Das am Ende des Ansaugehubes verfügbare Luftgewicht entspricht aber nicht dem Luftgewicht des Zylinderinhaltes von Atmosphärendruck. Es wird vermindert:

1. durch den Abgasrest, der im Verdichtungsraum zurückgeblieben ist und sich nun mit der neu angesaugten Luft vermischt;
2. durch die Temperatursteigerung, die die angesaugte Luft infolge der Mischung mit den Abgasresten und der Erwärmung durch die heißen Zylinderwandungen erfährt. Hierdurch dehnt sich die Luft aus;
3. durch den Drossel- und Reibungswiderstand an den Einlaßorganen. Dieser Unterdruck kann ganz erheblich sein, besonders bei Schnelläufern.

Wenn nun dem Motor vorverdichtete und wenn möglich auch gekühlte Luft zugeführt wird, so steht im Arbeitszylinder ein größeres Luftgewicht für die Verbrennung zur Verfügung. Da die Luft mit Überdruck in den Zylinder einströmt, wird durch geeignete Öffnungs- und Schließzeiten der Ventile ein Ausspülen der restlichen Verbrennungsgase angestrebt. Weiter werden die am meisten gefährdeten Teile, wie z. B. das Auslaßventil, durch die kalte Luft gekühlt. Man bezeichnet diese Verfahren mit Aufladeverfahren. Das höhere Luftgewicht gestattet die Verbrennung einer größeren Treibölmenge; damit verbunden ist die Steigerung der Leistung. Diese Leistungssteigerung geht ohne wesentliche Temperatur- und Druckerhöhung vor sich. Die höchste Verbrennungstemperatur ist vom Luftüberschuß abhängig. Behält man den gleichen Luftüberschuß wie beim unaufgeladenen Motor, so bleiben die Höchsttemperaturen die gleichen; die Wärmebeanspruchungen werden sich nicht erhöhen. Durch Beeinflussen der Treibölzufuhr oder Verändern des Verdichtungsverhältnisses wird ein größeres Ansteigen der Höchstdrucke vermieden, so daß auch die mechanischen Beanspruchungen der Maschine nicht sehr ansteigen.

Das Arbeitsschaubild der Maschine mit Aufladung unterscheidet sich vom Schaubild ohne Aufladung hauptsächlich durch seine größere Breite (Abb. 105). Die Füllinie liegt durch die Aufladung oberhalb der atmosphärischen Linie.

Da die Beanspruchungen des Motors nicht wesentlich steigen, kann die Aufladung im Dauerbetrieb angewandt werden, ist also nicht mit Überlastung zu verwechseln.

Die Aufladung kann erreicht werden:

1. Durch Kolbenlader,
2. durch Kreisellader,
3. durch Kapsellader.

Zu 1. Die Anwendung von besonders angetriebenen Kolbenpumpen ist ungebräuchlich. Vielfach wird dagegen die untere Kolbenfläche bei großen Motoren mit Kreuzkopf und Treibstange dazu benutzt, um bei zwei Umdrehungen der Viertaktarbeitsweise Frischluft in einen Sammler zu pumpen, der durch das Einlaßventil mit dem Arbeitszylinder in Verbindung gebracht werden kann. Steht der Kolben im oberen Totpunkt des Ansaugehubes, so öffnet sich das Ventil, und die im Sammler aufgespeicherte Luft strömt mit einem Überdruck in den Zylinder und wird nun verdichtet. Da der Enddruck der Verdichtung abhängig ist vom Anfangsdruck der Luft bei Beginn der Verdichtung, so muß der Verdichtungsraum des Zylinders entsprechend vergrößert werden, um zu hohe Drucke zu vermeiden.

Verfahren von van Essen (Abb. 103).

Zu 2. Die vielfach angewandte Aufladung durch Kreisellader vermeidet die im vorgenannten Verfahren auftretenden baulichen Schwierigkeiten. Der Lader wird entweder vom Motor selber über eine ausrückbare Reibungskupplung, durch eine eigene Hilfsmaschine oder eine Abgasturbine angetrieben. Bei der Aufladung strömt die vorverdichtete Luft aus einem Kanal, der durch selbsttätige Klappen von der Außenluft abgeschlossen wird, über die Einlaßventile in den Zylinder. Die Füllinie liegt also über der atmosphärischen Linie, so daß der Arbeitskolben keine Ansaugearbeit mehr leistet, sondern von dem Überdruck des Laders getrieben wird (Abb. 105).

Der Turbolader (Büchi-Verfahren, Abb. 104) ist eine besondere Art der Kreisellader. Hier wird eine Abgasturbine in das Auspuffsammelrohr eingeschaltet. Die in den Abgasen enthaltene Arbeitskraft wird in den Schaufeln der Turbine in mechanische Arbeit umgewandelt und vollbringt jetzt die Aufladearbeit in dem angekuppelten Lader.

Der Arbeitsverlust, den das Einschalten der Turbinenschaufeln durch Drosselung der Abgase hervorruft, gleicht sich vollkommen durch den Fortfall der Ansaugearbeit des Kolbens aus, so daß die Aufladearbeit praktisch ohne Leistungsverlust eintritt.

Die Büchi-Aufladung hat bei den Viertaktmotoren, sowohl bei Dieselmotoren als auch bei Ottomotoren immer mehr Verwendung gefunden. Besonders bei Höhenflugmotoren kommt man ohne Aufladung nicht aus.

Zu 3. Der Kapsellader (Abb. 105a) besteht aus einem Gußgehäuse, in welchem sich zwei Läufer um zwei parallele Achsen drehen. Sie laufen in Rollenlagern, um die Reibungsverluste so klein wie möglich zu halten. Die Läufer sind gegen das Gehäuse und sich selbst mit einem geringen Spiel von 0,4 ... 0,5 mm eingepaßt. Die Drehrichtung derselben ist gegeneinander gerichtet, daher werden die beiden Läufer durch Stirnräder angetrieben. Die Außenform der Läufer gestattet die Verwendung eines so geringen Spieles und macht ein gegenseitiges Klemmen unmöglich.

Die Wirkungsweise ist aus den Abbildungen 105a ersichtlich. Die Lager besitzen besondere Drucköler, die Zahnräder werden von der Umlaufdruckschmierung des Motors aus geschmiert. Das von den Lagern und Zahnrädern ablaufende Öl wird durch eine Abflußleitung zum Motorenölsammeltank geführt. Um die Läufer beim Stillstand des Motors zu prüfen, ist an der Außenwand des Ladergehäuses ein Schauloch vorgesehen.

Der Kapsellader ist nur bei Vorwärtsfahrt, und zwar nach erfolgtem Anstellen des Motors, am Fahrstand einzuschalten. Durch eine Reibungskupplung kann der Lader während des Betriebes zu- und abgeschaltet werden. Beim Umsteuern auf „Zurück" wird der Lader selbsttätig abgeschaltet.

Einlaßöffnung und Auslaßschluß überlappen sich bei diesen Ladern bis zu 100° Kw (bei Büchi-Ladern sogar bis 140° Kw). Diese Überlappung ist erwünscht, da der Verdichtungsraum gut gespült und das Auslaßventil durch die vorbeistreichende Luft gekühlt wird.

Die Lader finden bei Krupp-Motoren als Doppelkapsellader Anwendung. Eine Sonderausführung neuester Bauart ist der Kapselflügellader Abb. 105b. Dieser Kapselflügellader besitzt besonderen Antrieb und zeichnet sich durch ruhigen Lauf aus. Die Wirkungsweise ist aus der Abbildung ersichtlich.

Durch Aufladung kann bis zu 60% Leistungssteigerung erreicht werden.

b) Aufladung bei Zweitaktmotoren

Allgemeines

Der Zweitaktmotor scheint für das Aufladen besonders geeignet zu sein, da er schon ein Gebläse besitzt, das die Spül- und Ladeluft beim Hubwechsel in den Zylinder fördert. Man muß sich aber über die Schwierigkeiten dieser Spülung und Ladung vor allem bei schnellaufenden Maschinen klar werden.

Hohe Spülluftdrucke verlangen eine große Arbeitsleistung, die für den Antrieb des Gebläses erforderlich wird.

Der nach oben gehende Kolben schließt außerdem zuerst die Spülluftschlitze und dann erst die Auslaßschlitze (Abb. 100 und 101), so daß eine Aufladung nicht eintreten kann, da die Ladung zum Teil durch die noch geöffneten Auslaßschlitze entweicht.

Da nach dem Vorhergesagten der Spülluftdruck nur sehr gering sein darf, so wird auch die Zeit zur Aufladung nicht genügen, um einen Druck des eingeschlossenen Luftgewichts beim Beginn der Verdichtung zu erreichen.

Von den Zweitaktmotoren, die mit Aufladung arbeiten, seien hier erwähnt:

1. Der Junkers-Gegenkolbenmotor (Abb. 95 und 125)

Hier arbeiten zwei Kolben in einem Zylinder, von denen einer die Spülluft-, der andere Kolben die Auspuffschlitze steuert. Da die Kolben auf zwei verschiedenen Kurbeln arbeiten, hat man es durch Versetzen der Kurbeln in einem bestimmten Winkel in der Hand, die Spülluft erst bei vollkommener Eröffnung der Auspuffschlitze eintreten zu lassen und die Aufladung dadurch zu erreichen, daß noch Spülluft eintritt, wenn die Auspuffschlitze schon durch den zweiten Kolben überlaufen sind.

Der Motor wird in Teil V noch weiter beschrieben.

2. Aufladeverfahren von Sulzer (Abb. 99)

Sulzer ordnet außer den Auspuff- und Spülschlitzen besondere Nachladeschlitze an, die entweder mit dem Spülluftkanal oder mit einem unter höherem Druck stehenden Aufladekanal (0,7 at) verbunden sind.

Durch ein gesteuertes Ventil kann die Nachladeluft eintreten, wenn die Auspuffschlitze geschlossen sind. Bei diesem Verfahren, das bei etwas verwickelter Bauart gute Erfolge zu verzeichnen hat, kann eine Leistungssteigerung von etwa 50% erzielt werden.

Das Büchi-Verfahren kann bei Zweitaktmotoren nicht angewandt werden, weil der Widerstand in der Auspuffleitung durch die Abgasturbine zu groß wird und den Spül- und Ladevorgang zu sehr verschlechtert. Die Wärmeenergie der Abgase ist zudem recht gering, da die Auspufftemperaturen durch die überschüssige Spülluft nur $\approx 250°$ C betragen.

In Abb. 106 sind die Steuerschaubilder der wichtigsten Zweitaktmotoren mit Aufladung bzw. Auspuffdrosselung (MAN) dargestellt.



FÜNFTER TEIL

Beschreibung der wichtigsten Marinemotoren

Allgemeines

In den letzten Jahren sind bemerkenswerte Schritte in der Weiterentwicklung des Dieselmotors zur Schiffsmaschine großer Leistung gemacht worden. Diese Entwicklung hat die Hebung der Betriebssicherheit, die Herabsetzung des Treibölverbrauches und vor allem die Vereinfachung des Aufbaues und die Verminderung des Gewichtes pro Leistungseinheit zum Ziel. Mit der Verminderung des Einheitsgewichtes jeder Maschine vergrößert sich ihr Anwendungsbereich im Schiffbau, und es vermindert sich gewöhnlich ihr Preis.

Da bei allen Kriegsschiffen die Raum- und Gewichtsfrage von ausschlaggebender Bedeutung ist, so kann man zum Motorenbetrieb nur dann übergehen, wenn das Einheitsgewicht pro PS gleich oder niedriger ist, als das der Turbinenanlagen. Mit der Einführung der Ritzelübertragung bei schnellaufenden Turbinen sank das Gewicht pro PS auf $\approx$ 20 kg, während die U-Bootsdieselmotoren, die bereits als Schnelläufer galten, noch 22 kg aufwiesen. Wollte man zum Motor als Antriebsmittel von Kriegsschiffen übergehen, so war der einzuschlagende Weg bei der Wahl des Maschinensystems gegeben:

1. Schnelläufer mit Ritzelübertragung,
2. Zweitaktverfahren,
3. Doppeltwirkung,
4. Aufladung.

Aus der Formel für die Berechnung der Maschinenleistung geht der Einfluß der Drehzahl klar hervor. Die gemessene Leistung jeder Maschine steigt bei gleichbleibendem mittleren Druck in demselben Maße, wie die Drehzahl anwächst. In der Drehzahlerhöhung ist also ein wirksames Mittel zur Verminderung des Einheitsgewichtes eines Dieselmotors gegeben. Aber auch damit überschreitet man noch weit das Gewicht gleichstarker Getriebeturbinen mit Kesseln leichtester Bauart, also von Maschinenanlagen, wie sie für schnelle, leichte Kriegsschiffe gebraucht werden. Eine weitere Steigerung der Drehzahl kann jedoch erst vorgenommen und somit eine weitere Herabsetzung des Einheitsgewichtes erreicht werden, wenn Kolben und Triebwerke des schnellaufenden Dieselmotors durch geeignete Formgebung und entsprechende Werkstoffauswahl so leicht gebaut werden können, daß die auftretenden Beschleunigungsdrücke beherrschbare Größen erreichen. Da der beste Schraubenwirkungsgrad aber bei niedrigen Umdrehungen liegt und sich bei hohen Umdrehungen sehr schnell verschlechtert, so kann man einen unmittelbaren Schraubenantrieb durch einen schnellaufenden Motor nicht verwenden. In diesen Fällen schaltet man zwischen die schnellaufende Antriebsmaschine und die Schraubenwelle zur Herabsetzung der Drehzahl ein Ritzelgetriebe mit entsprechender Untersetzung ein, wie es im Schiffsturbinenantrieb heute allgemeiner Brauch geworden ist. Bei der Verwendung von Ritzelgetrieben beim Dieselmotorenantrieb entstehen jedoch Schwierigkeiten. Das Drehmoment einer Turbine hat eine stets gleichbleibende Größe. Die Größe des Drehmomentes eines Dieselmotors dagegen schwankt während jeder Wellendrehung erheblich. Die Zahnflanken des Ritzels und des großen Rades lösen sich unter dem Einfluß des wechselnden Druckes voneinander und schlagen im nächsten Augenblick mit großer Kraft wieder zusammen. Zahnradgetriebe werden also bei unmittelbarer Kupplung mit Dieselmotoren sehr geräuschvoll laufen und bald zerstört werden.

Bei allen bisher ausgeführten Dieselmotorenanlagen mit Untersetzungsgetrieben hat man daher zwischen Dieselmotor und Ritzel eine federnde Kupplung eingebaut, die alle Schwankungen des Drehmomentes aufnehmen soll, so daß Ritzel und Rad mit möglichst gleichbleibendem Zahndruck umlaufen können. Zur Abschwächung der Schwingungen während der kritischen Umdrehungen versieht man schnellaufende Motoren mit Schwingungsdämpfern.

In Abb. 107 ist die Kupplung eines schnellaufenden Dieselmotors mit dem Ritzel eines Untersetzungsgetriebes Bauart Blohm & Voß, Hamburg, gezeigt. Der Motor ist mit dem Ritzel des Getriebes durch eine lange federnde Welle verbunden. Um das Getriebe trotzdem in der Nähe des Motors lagern zu können, hat man das Ritzel durchbohrt und durch die Bohrung die Welle hindurchgeführt. Über die federnde Welle wird eine Hohlwelle gezogen, die einmal mit dem Ritzel und das andere Mal durch einen Flansch mit der ersteren verbunden ist.

Die Vulkanwerft (Deschimag) benutzt für die Kupplung zwischen Dieselmotor und Ritzel das Vulkangetriebe, eine Flüssigkeitskupplung mit Ölfüllung in Verbindung mit einem Untersetzungsgetriebe. Die Antriebswelle, die mit der Kurbelwelle des Motors verbunden wird, trägt die treibenden Teile der Kupplung, während die Ritzelwelle an ihren Enden die angetriebenen Teile trägt (Abb. 108).

Die Kupplung besteht aus zwei mit den Öffnungen einander zugekehrten Hohlkugelabschnitten, die jedoch nicht starr miteinander verbunden sind. Durch Rippen werden im Innern dieser Hohlkugelabschnitte Zellen gebildet. Am Umfang des treibenden Teiles sind Entleerungsöffnungen angebracht, die durch einen verschiebbaren Ring im Betriebe verschlossen werden. Durch Öffnungen im angetriebenen Teil kann die Kupplung gefüllt werden.

Die Wirkungsweise des Vulkangetriebes ist folgende: Bei laufendem Dieselmotor wird die Kupplung durch eine Pumpe mit Öl gefüllt. Das durch den Umlauf des antreibenden Kupplungsteiles in Strömung versetzte Öl stellt das Bindeglied zwischen beiden Kupplungshälften dar, wodurch das Ritzel des Getriebes in Drehung versetzt wird. Dabei ergibt sich zwischen beiden Kupplungshälften eine Schlüpfung von etwa 2 ... 3% der Drehzahl, die den Verlust in der Kupplung darstellt.

Die Füllung der Kupplung erfolgt von der Motorenölpumpe. Der Motorenöldruck steht auch während der ganzen Zeit, in der die Schraube mit dem Motor gekuppelt ist, auf der Kupplung. Hierdurch wird der Leckölverlust ausgeglichen und durch den Austausch des Lecköles eine zu starke Erwärmung des Öles vermieden. Füllschieber und Entleerungsringe werden gleichzeitig durch ein Gestänge von einem Servomotor betätigt. Die Betätigung des Servomotors erfolgt mit Drucköl vom Fahrstand aus. Zum Entleeren der Kupplung wird durch den Servomotor der Füllschieber geschlossen und der Entleerungsring mit seinen Öffnungen über die Öffnungen des treibenden Teiles geschoben.

Das Vulkangetriebe ermöglicht einen vollkommen gleichbleibenden Zahndruck im Getriebe, da alle Schwankungen des Drehmomentes in den Kupplungen aufgenommen werden. Vorteilhaft ist weiter, daß mit Hilfe dieses Getriebes mehrere Dieselmotoren auf eine Schraube arbeiten können. Man ist damit in der Lage, eine sehr starke Motorenanlage mit beschränkter Schraubenzahl in ein Schiff einsetzen zu können. Jeder dieser Motoren kann durch einfache Entleerung der zugehörigen Kupplung abgeschaltet werden.

Auf einigen Schiffen sind Schlupfkupplungen an die Vulkangetriebe angebaut. Durch diese Schlupfkupplung kann bei geschlossenem Füllschieber und geöffnetem Entleerungsring Öl in die Kupplung gegeben werden. Hierdurch ist es möglich, ohne Rücksicht auf die Untersetzung des Getriebes, sehr niedrige Schraubenumdrehungen zu erreichen.

Durch Anwendung der vorgenannten Mittel zur Herabsetzung des Einheitsgewichtes war man in der Lage, den Motor auch als Antriebsmaschine im Kriegsschiffbau zu verwenden.

A. Marschmotoren der Kreuzer „Leipzig" und „Nürnberg"

Die ersten brauchbaren Marschmotorenanlagen wurden auf „Leipzig" eingebaut (Abb. 109a). Hier wurde die Marschturbinenanlage durch Marschmotoren ersetzt, die auf der Mittelwelle arbeiten. Die Anlage besteht aus 4 Hauptmotoren, die auf ein Hauptritzel der Mittelwelle unter Zwischenschaltung einer Flüssigkeitskupplung einwirken und wahlweise durch Füllen und Entleeren der Kupplungen in Betrieb genommen werden können. Das Vulkan-Getriebe setzt die Motorenumdrehungen von 600 auf 400 Umdrehungen der Schraubenwelle herab.

Auf die Marschmotorenanlage konnte nicht mehr bei Höchstfahrt verzichtet werden; dies führte zu der Anwendung einer Drehflügelschraube auf der Mittelwelle, die bei Marschfahrt mit kleiner Steigung arbeitet, bei Vollast unter gleichzeitigem Arbeiten des Turbinensatzes mit einer großen Steigung. Diese Einrichtung ist notwendig, weil die Motoren bei Marschfahrt mit hoher Schraubensteigung zu wenig Umdrehungen laufen müßten.

B. Der doppeltwirkende MAN Zweitaktmotor

Allgemeines

Als erstes reines Motorenschiff wurde das Artillerieschulboot „Bremse" gebaut. Die 8 Motoren sind hier auf zwei Wellen verteilt. Durch die Vergrößerung der Motorenanlage (8 Zylinder statt 7 auf „Leipzig") konnte die Gesamtleistung auf 26 000 PS erhöht werden. Für je 2 Hauptmotoren ist ein Hilfsmotor vorgesehen, der Spülgebläse und Pumpen antreibt. Die Hilfsmotoren haben hier dieselben Zylinderabmessungen erhalten wie die Hauptmotoren, laufen jedoch mit geringeren Umdrehungen und geringerem Kolbendruck.

In der allgemeinen Anordnung sind die Hauptmotorenanlagen des Panzerschiffs „Lützow" den „Bremse"-Anlagen sehr ähnlich. Die 8 Hauptmotoren mit je 9 Arbeitszylindern leisten bei 450 U/min je 7100 PS. Vulkangetriebe setzen auch hier die Schraubendrehzahl auf 250 U/min herab, um einen günstigen Wirkungsgrad zu erreichen.

Für je 2 Hauptmotoren ist ein Hilfsmotor vorgesehen, der die nötige Spülluft, das Kühlwasser, Kühlöl und Motorenöl fördert. Die Hilfsmotoren haben 5 Arbeitszylinder von den Abmessungen der Hauptmotoren, laufen jedoch auch mit niedrigen Umdrehungen und verringertem Kolbendruck. Die Getrieberäume sind von den Motorenräumen durch Schotten abgeschlossen.

Die Hauptmotorenanlagen des Panzerschiffes „Admiral Scheer" unterscheiden sich nur dadurch von den „Lützow"-Anlagen, daß die beiden Vulkangetriebe noch einmal unterteilt sind, so daß nur zwei Hauptmotoren auf ein Getriebe arbeiten. Die Schotteneinteilung ist so gewählt, daß immer zwei Hauptmotoren und ein Hilfsmotor mit dem zu den Hauptmotoren gehörigen Vulkangetriebe vereinigt sind. Die Hauptwelle besitzt also zwei große Getrieberäder anstatt eines.

Aufbau der Motoren

1. Maschinengestell und Grundlager (Abb. 110)

Das Maschinengestell ist aus dünnwandigem Sonderflußeisen oder Stahlblech hergestellt. Es besteht aus drei Teilen, die miteinander verschraubt oder verschweißt sind. Durchgehende Zuganker übertragen die Zugkräfte, die bei der Zündung entstehen, direkt auf die Grundlager. Die Zuganker sind aus hochwertigem Stahl und mit einer Vorspannung versehen, die größer als der Zünddruck ist. Das untere Ende der Anker bildet gleichzeitig die Befestigung für die Kurbelwellenlager. Unterhalb des Gestells ist eine Ölwanne aus Stahlblech angeordnet, die öldicht mit diesem verschraubt ist.

2. Zylindermittelstücke (Abb. 110a)

Auf dem Gestell, durch die Anker fest mit diesem verbunden, liegen die zu einem Block miteinander verschraubten Zylindermittelstücke. Sie sind aus Gußeisen, sind wassergekühlt und haben vier Reihen Schlitze, und zwar untere und obere Auspuffschlitze und untere und obere Spülschlitze. An die Mittelstücke sind auf der einen Seite die Auspuffdrehschieber mit den Auspuffsammelleitungen und die Spülluftleitungen, auf der Steuerseite die Lager der Steuerwelle und die Böcke für die Treibölpumpen angebracht. Die Zylindermittelstücke bilden den mittleren Teil der gesamten Zylinderlauffläche.

3. Obere und untere Zylinderhauben (Abb. 111)

An die Zylindermittelstücke sind oben und unten die Zylinderhauben angeflanscht; die Paßflächen befinden sich im Bereich niederer Drucke. Die Hauben bestehen aus zwei Teilen, den aus Stahl geschmiedeten eigentlichen Zylinderhauben, die gleichzeitig die obere bzw. untere Fortsetzung der Zylinderlaufbahn bilden, und den darüber gesetzten Wassermänteln aus Gußeisen. Die oberen Zylinderhauben haben in der Mitte einen angeschmiedeten Ansatz für das obere Treibölventil. Die übrigen Ventile, Anlaßventil, Sicherheitsventil und Prüfventil, sind in die Zylinder eingeschraubt und mit Buchsen aus nichtrostendem Stahl vom Wasserraum getrennt. Zur Schmierung der Laufflächen sind Schmieranstiche vorgesehen. Durch die wellenförmige Ausführung der Stöße in der Laufbuchse wird ein Auflaufen der Kolbenringe auf eine vorstehende Kante vermieden.

4. Stopfbuchsen (Abb. 112)

Zur Abdichtung der Kolbenstange gegen den Verbrennungsraum dient eine Stopfbuchse mit Metallringen. Sie besteht aus vier einteiligen Ringen (2) aus Gußeisen, sogenannten Brandringen, und acht sechsteiligen, durch eine Ringfeder an die Stange gedrückten Dichtungsringen (5), ebenfalls aus Gußeisen. Alle Ringe sind radial frei beweglich in Kammerringen gelagert. Durch seitliche Laschen (8) werden alle Ringe zusammengehalten, so daß die Stopfbuchse als ein Stück ein- und ausgebaut werden kann, nachdem die Stopfbuchsenmutter abgeschraubt ist. Ungefähr in der Mitte der Stopfbuchse ist ein Anschluß für Schmierung angebracht.

5. Triebwerk (Abb. 110, 113 und 114)

Die Kurbelwelle ist aus legiertem Stahl in einem Stück hergestellt. Die Kurbelzapfen sind zur Gewichtserleichterung hohl gebohrt. Die durch Deckel verschlossenen Bohrungen dienen zur Verteilung des Motorenöls an die Treibstangenlager. Das Öl wird den Kurbellagern von unten zugeführt. Die Kurbelwelle hat neben dem Kurbelflansch zwei um 90° versetzte Scheibenkurbeln zum Antrieb der Steuerwelle und der Auspuffdrehschieberwellen. Der Antrieb geschieht durch zwei Kuppelstangen und Zahnräder. Die Auspuffdrehschieberwellen werden durch Ketten angetrieben (Abb. 119).

Die Treibstange hat oben eine Gabel, in der der Kreuzkopfbolzen (1) befestigt ist. Der Kreuzkopfbolzen ist hohl und trägt an beiden Enden Zapfen für die Lagerung der Kolbenkühlgelenke (Abb. 114).

Der Kreuzkopf hat oben eine halsartige Verlängerung, die zur Aufnahme der Kolbenstangenmutter (11) dient. Die Mutter ist mit rechtsgängigem Außengewinde in den Kreuzkopf eingeschraubt. Der Kreuzkopf gleitet an der luftgekühlten Gleitbahn (9).

Der Kolben (Abb. 113) besteht aus drei Teilen. Der mittlere Teil (3) ist auf dem Oberteil aufgeschraubt. Er wird mit Öl gekühlt. Wegen der Wärmeausdehnungen sind die Außenwände nicht miteinander verschraubt, sondern ineinandergeschoben und mit Ringen aus Gußeisen (4) und Gummidichtungen (5) gegen das Kühlöl abgedichtet. Der Unterteil (1) kann sich auf dem mittleren Teil (3) stopfbuchsenartig verschieben. Zur besseren Führung ist der Oberteil mit einem Weißmetallguß (7) versehen.

Die Kolbenstange ist in dem Kolben eingeschraubt. Das untere Ende hat ein Linksgewinde, mit dem die Stange in die Kolbenstangenmutter eingeschraubt ist. Die Kolbenstange ist gegen Herausdrehen durch einen im Kreuzkopf sitzenden Stift (23), die Mutter durch ein Sicherungsblech gesichert. Die Kolbenstange ist hohl gebohrt und mit einem Einsatzrohr versehen, durch welches das Kühlöl dem Kolben zugeführt wird (Abb. 114).

Kolben und Kolbenstange werden mit Öl gekühlt, das mittels Gelenken (13 und 16) zu- und abgeführt wird. Das Öl tritt durch das eine Gelenk in den hohlen Kreuzkopfbolzen, durch eine Bohrung in das innere Rohr der Kolbenstange, durchläuft erst den Kolbenoberteil, dann den Unterteil und fließt in den Ringraum zwischen Rohr und Bohrung in der Kolbenstange zurück. Das Öl tritt dann durch Schlitze am unteren Ende der Stange in die hohlgebohrte Kolbenstangenmutter, von dort in einen Ablaufring und durch ein kurzes Rohr in das Abflußgelenk. Das Öl fließt von jedem Kolben einzeln über einen Kontrolltrichter unmittelbar in die Kurbelwanne (Abb. 114).

6. Ventile in den Zylindern

Treibölnadelventile und Düsen (Abb. 116)

Es sind Nadelventile, die selbsttätig durch den Druck des Treiböles bei 180 at öffnen. Das Nadelventil (1) endigt in einer Düse (3), die die Verteilung und Zerstäubung des Treiböles bewirkt. Zur Vermeidung von Koksansatz sind die Düsen mit Öl oder Treiböl gekühlt (9 und 10). Die obere Zylinderseite hat ein Nadelventil mit kreisförmig angeordneten Düsenöffnungen, die untere zwei Ventile, deren Düsenöffnungen so angeordnet sind, daß die Treibölstrahlen die Kolbenstangen nicht berühren (Abb. 115).

Die Nadel ist öldicht in die Düsenkappe (2) eingeschliffen und hat einen kegeligen Sitz, mit dem sie auf der Düse aufsitzt, die ihrerseits wieder kegelig in die Düsenkappe eingesetzt ist. Der Ventileinsatz hat einen Kegel, auf den das Anschlußstück (12) öldicht aufgeschliffen ist. Es enthält die Verschraubung für die Treiböldruckleitung, ein Sicherheitsventil und ein Federgehäuse. Die Druckfeder (19) drückt mit einer Stelze (20) auf die Nadel (1). Die Federkraft und damit der Abspritzdruck kann mit einer Mutter verändert werden. Bei den unteren Ventilen ist eine Sicherung vorhanden, damit das Ventil nicht falsch eingebaut werden kann.

Anlaßventil und Anlaßsteuerschieber (Abb. 117)

Nur die oberen Zylinderseiten haben Anlaßventile. Sie werden durch Luftdruck von einem Anlaßsteuerschieber gesteuert. Beim Anlassen strömt die Luft gleichzeitig in die Anlaßleitung (1) und zu dem Anlaßsteuerschieber (2). Die Anlaßventile werden, auch wenn Anlaßluft vor dem Ventil steht, durch eine Feder geschlossen. Durch die Anlaßluft wird der Schieber (3) gegen die Kraft der Feder (4) heruntergedrückt. Steht nun der Anlaßnocken mit der Aussparung (negativer Nockenteil) unter der Rolle (5), so wird durch die Steuerkante (a) der Zuluftkanal (6) freigegeben, und Steuerluft strömt zu dem Steuerkolben (7) des Anlaßventils, drückt diesen gegen die Federkraft auf und Anlaßluft strömt in den Zylinder. Der Schluß des Anlaßvorganges wird erreicht, wenn der Nocken den Steuerschieber soweit hochgehoben hat, daß die Steuerkante (b) das Entlüftungsloch (8) freigibt. Der Raum über dem Kolben des Anlaßventils wird dadurch entlüftet, und das Ventil schließt unter dem

Druck der Feder. Der Steuerkolben (7) ist so bemessen, daß das Ventil durch Steuerluft nur geöffnet werden kann, wenn der Druck im Zylinder unter den Druck in der Anlaßleitung gesunken ist, so daß nach Einsetzen der Zündungen keine Verbrennungsgase in die Anlaßleitungen gelangen können. Ende des Anlaßvorganges 90° n. O. T.

7. Treibölpumpe (Abb. 118)

Die Pumpen werden durch Nocken angetrieben. Jeder Nocken treibt gleichzeitig zwei Pumpen, eine für die Oberseite und eine für die Unterseite des Zylinders. Eine Nockenhälfte ist verschiebbar und kann durch Schrauben verstellt werden. Für die Hauptmotoren sind Nocken für Vor- und Rückwärtsgang vorgesehen, die nebeneinander liegen. Auf dem Nocken läuft eine Rolle (4), die in einem Führungskolben (5) gelagert ist, der in einer Führungsbuchse (6) läuft. Dieser Führungskolben drückt gegen den Pumpenstempel (8). Der Abwärtsgang wird von einer Feder (9) bewirkt, deren unterer Federteller (10) den Stempel wieder nach unten zieht. Der Federteller stützt sich aber nicht unmittelbar auf den Bund des Stempels, sondern auf den Führungskolben (5). Bei „a" muß etwa 0,1 mm Spiel sein; dadurch wird erreicht, daß der Stempel während der Auf- und Abbewegung leicht gedreht werden kann. Am Stempel (8) ist ein Mitnehmer (11) angebracht, in den eine mit Zahnkranz (13) versehene Regelglocke (12) eingreift. Dieser Zahnkranz wird vom Regelgestänge (14) bewegt.

Der Pumpenstempel ist öldicht in eine Führung (16) eingeschliffen, die eine Saugöffnung (17) und eine Überströmöffnung (18) hat. Hat der Kolben die beiden Öffnungen (17 und 18) überdeckt, dann beginnt die Förderung. Sie wird unterbrochen, wenn die schräge Steuerkante das Loch (18) überschleift und somit durch die Nute (20) eine Verbindung vom Druck- zum Saugeraum hergestellt hat. Durch Drehen des Stempels wird dieser Druckausgleich, also Förderende, früher oder später hergestellt.

Da beim Festsitzen eines Stempels das gesamte Regelgestänge klemmen würde, geschieht die Übertragung der Regelbewegung nicht starr, sondern über Blattfedern, die in die senkrechte Regelstange (14) eingebaut sind.

Der Pumpenraum ist oben durch eine geschliffene Platte (22), die zugleich den Sitz für das Druckventil (23) bildet, abgeschlossen.

Früheres oder späteres Einspritzen des Treiböles wird erreicht durch Verstellen der Nocken. Es ist dabei zu beachten, daß beim Verstellen des Nockens beide Pumpen beeinflußt werden. Um jedoch jede Pumpe einzeln einstellen zu können, sind bei den oberen Pumpen Beilagen eingelegt. Durch Herausnehmen von Beilagen wird die Pumpe mit der Stempelführung tiefer gesetzt, die Saugelöcher schließen früher, d. h. die Einspritzung beginnt früher.

Bei jeder Pumpe ist an der Oberseite eine Zahl eingeschlagen, die das Maß angibt von Oberkante Pumpe bis Oberkante Saugloch. Bei Anbau einer neuen Pumpe oder einer neuen Führung mit Stempel stellt man den Stempel bis zum Verschließen dieses Sauglochs und mißt dieses Maß mit einer Tiefenmaßlehre nach. Die Nullfüllungsmarke des Stempels ist bei allen Pumpen markiert. Es befindet sich ein eingeätzter Strich auf der oberen Fläche des Stempels und der Führungsbuchse. Beide Risse sollen genau übereinstimmen, wenn die Anschlagstifte (15) an den Aussperrungen der drehbaren Buchse anliegen.

Jede Pumpe ist mit einer Luftabstellvorrichtung versehen, die vom Schnellschlußregler betätigt wird. Durch einen Hebel mit Splint kann jedoch jede Pumpe auch einzeln durch Abheben der Rollen vom Nocken außer Tätigkeit gesetzt werden. Bei einigen Ausführungen geschieht dieses Abheben der Rolle durch eine Spindel.

8. Steuerungsantrieb und Steuerwelle (Abb. 119 und 120)

Von der Kurbelwelle aus wird durch zwei Scheibenkurbeln und Kuppelstangen eine kleine Kurbelwelle und ein auf ihr sitzendes Zahnrad angetrieben. Von diesem aus werden mit der Drehzahl der Kurbelwelle die Steuerwelle und die Kette für die beiden Auspuffdrehschieberwellen angetrieben. Auf der Steuerwelle sitzen die Nocken für die Treibölpumpen, Anlaßsteuerschieber und die Zahnräder für den Antrieb der Zylinderschmierapparate.

9. Auspuffdrehschieber (Abb. 110a, 119 und 120)

Die Auspuffdrehschieber haben den Zweck, das Entweichen der Spülluft durch die Auslaßschlitze zu verhindern. Die Schieber drosseln die Auspuffquerschnitte beim Überdecken der Spülschlitze durch den Kolben ab, wodurch das volle Luftgewicht dem Zylinder erhalten bleibt.

Die Schieber sind an einer Welle befestigt, die im Bereich der Schlitze jedes Zylinders gekröpft sind. Die Welle läuft auf Rollenlagern, ist hohl und wird durch Öl gekühlt. Bei den umsteuerbaren Hauptmotoren muß beim Umsteuern auch die Schieberwelle umgesteuert werden. Dies geschieht durch einen ölgesteuerten Drehkolben. Die Steuerung des Drucköles für den Drehkolben wird durch einen Steuerschieber betätigt, der von der Verschiebevorrichtung der Steuerwelle bewegt wird.

Schalt- und Regeleinrichtungen

1. Anlaßvorrichtung (Abb. 121)

Die Hauptmotoren können vom Fahrstand oder vom Motorwachstand aus angelassen werden. Die Betätigung des Hauptanlaßventils (Abb. 122) geschieht durch Steuerluft. Die Steuerluft tritt vor das Hauptanlaßventil (1), öffnet dieses, und Anlaßluft strömt durch das Druckminderventil (4) zu den Anlaßventilen und Anlaßsteuerschiebern.

Durch einen Blockierungsschieber, der mit der Steuerwelle verbunden ist, wird erreicht, daß die Steuerluft das Hauptanlaßventil nur betätigen kann, wenn die Steuerwelle sich in einer Endlage befindet (Abb. 119, 120 und 121).

2. Umsteuerung (Abb. 119)

Das Umsteuern kann ebenfalls vom Fahrstand und vom Motorwachstand aus geschehen.

Umsteuern vom Fahrstand aus:

Der Umsteuerkolben (17) ist mit der Steuerwelle verbunden. Er bewegt sich in einem Zylinder, der mit zwei Flaschen (18) in Verbindung steht, die teilweise mit Öl gefüllt sind. Tritt nun vom Manövrierhebel des Fahrstandes aus Luft in eine dieser Flaschen, so drückt das Öl auf den Kolben im Umsteuerzylinder und verschiebt die Steuerwelle.

Ein Abheben der Treibölrollen findet nicht statt, die Rollen sind abgeschrägt, so daß sie auf die Nocken gleiten können.

Die Rollen der Anlaßsteuerschieber sind durch Federn während des Betriebes aus dem Bereich der Nocken gebracht und werden nur während des Anlassens auf die Nocken gedrückt. Damit die Steuerwelle in den Endlagen stehenbleibt, ist noch ein Sperrhebel (19) vorhanden, der durch einen federbelasteten Kolben die Welle in den Endlagen festhält.

Das Umsteuern vom Motorwachstand aus geschieht durch einen Hebel, der auf ein Vierkant gesteckt wird. Dann wird die Steuerwelle von Hand verschoben.

3. Treiböleinrichtungen (Abb. 121)

Das Regeln der Treibölfüllung geschieht durch Verdrehen der Treibölpumpenstempel. Das Regelgestänge der einzelnen Pumpen ist untereinander durch das Gestänge (7) verbunden. Die Füllung kann durch fünf verschiedene Einrichtungen beeinflußt werden:

1. durch den Handabstellhebel (5),
2. durch den Regler mit Drehzahlverstellung und Servomotor (16),
3. durch den Schnellschlußregler,
4. durch den Abstellzylinder (10),
5. durch die Leerlaufschaltung (11) beim Entleeren der Vulkankupplung.

Handabstellung

Legt man den Handabstellhebel (5) von der Stellung „Betrieb" auf „Stopp", dann wird der Motor abgestellt, die Steuerluftwege vom Fahrstand abgeschaltet und die Vulkankupplung ausgekuppelt.

Fliehkraftregler mit Drehzahlverstellung und Servomotor (Abb. 120 und 121)

Der Regler regelt über einen Servomotor die Treibölzufuhr. Die Füllung wird also nicht unmittelbar von Hand verstellt, sondern durch Be- oder Entlasten der Federwaage des Reglers.

Der Regler greift nicht direkt an das Treibölregelgestänge, sondern verstellt nur einen Steuerschieber (15) für den Servomotor (16). Von der Reglerwelle wird eine Ölpumpe angetrieben, die den nötigen Öldruck für den Servomotor schafft (Abb. 121).

Die Arbeitsweise der Servomotorsteuerung ist folgende:

Soll die Motorendrehzahl erhöht werden, dann wird die Drehzahlverstellung auf eine höhere Umdrehung eingestellt. Die Federn der Federwaage werden dadurch gespannt; die Reglermuffen gehen etwas nach unten, der Steuerschieber nach oben, und dadurch tritt Öl auf die eine Seite des Servomotorkolbens. Die Drehzahl steigt infolgedessen, bis die Fliehkräfte der Reglergewichte den Federkräften das Gleichgewicht halten. Beim Bewegen des Kolbens (16) wird auch die Welle (17) etwas bewegt und damit der außer der Mitte gelagerte Drehpunkt des Reglerhebels etwas verschoben und dadurch eine Rückwärtsbewegung des Steuerschiebers bis in seine Mittellage bewirkt.

Schnellschlußregler

Um ein Durchgehen des Motors zu verhindern, ist eine Schnellschlußvorrichtung angebracht, die bei gewissem Überschreiten der eingestellten Drehzahl ein Luftventil öffnet, wodurch sämtliche Treibölpumpen von den Nocken abgehoben werden.

Abstellzylinder (Abb. 121)

Jeder Motor ist mit einem Abstellkolben (10) versehen, der mit Druckluft betätigt wird. Bei Legen des Manövrierhebels am Fahrstand auf „Stopp" tritt in den Zylinder Druckluft, und der Kolben drückt das Reglergestänge der Treibölpumpen auf Null.

Leerlaufschaltung (Abb. 121)

Bei entleerter Vulkankupplung wird zwangsläufig durch Öldruck eine Anzahl Treibölpumpen auf Nullfüllung gedrückt, so daß der Motor im Leerlauf nur mit wenigen Zylindern (z. B. 3) läuft. Dies geschieht durch einen Steuerkolben (11), der vom Steueröl der Vulkankupplung betätigt wird. Diese Leerlaufschaltung kann jedoch vom Fahrstand aus abgestellt werden, hierbei wird die Ölzufuhr zum Steuerkolben abgesperrt und gleichzeitig die Leitung entleert. Nun drückt eine Feder wieder die abgeschalteten Treibölpumpen auf Füllung.

4. Haupt- und Nebenfahrstände

Das Manövrieren mit den Motoren geschieht von den Fahrständen aus. Alle Steuerbewegungen werden mit Ausnahme der Drehzahlverstellung mit Druckluft bewirkt, und zwar durch Öffnen von Belüftungsventilen und Schließen von Entlüftungsventilen und umgekehrt.

Die Fahrstände vereinigen in sich folgende Einrichtungen:

1. Einen Manövrierhebel zum Stoppen, Umsteuern und Anlassen,
2. einen Schalthebel zum gruppenweisen Manövrieren,
3. eine Drehzahlverstellung für sämtliche Motoren einer Anlage;

ferner:

4. Die Kupplungshebel zum Ein- und Ausschalten der Vulkankupplungen,
5. die Hebel für die Schlupfeinrichtung,
6. die Dreiwegehähne zum Ausschalten der Leerlaufeinrichtung.

Hilfseinrichtungen (Abb. 124)

Zur Versorgung der Motorenanlage mit Motorenöl, Kühlöl, Kühlwasser, Treiböl, Spülluft und Anlaßluft dienen besondere Hilfsmotoren, die meist die gleichen Abmessungen wie die Hauptmotoren haben, jedoch weniger Zylinder.

Auf einer vom Hilfsmotor mit Übersetzung angetriebenen Pumpenwelle sitzen Kreiselpumpen für Motoren- und Kühlöl, Kühlwasser und Treiböl sowie eine Wasserdruckpumpe zum Antrieb der Zubringerpumpe. An dem einen Ende des Hilfsmotors befindet sich eine elastische Kupplung, die über eine Übersetzung das Gebläse für Spülluft antreibt. Am anderen Ende des Hilfsmotors befindet sich der abschaltbare zweistufige Verdichter zum Ergänzen der Anlaßluft.

Kühlöl und Motorenöl

Zum Kühlen der Kolben und Schmieren der Lager wird ein einheitliches Öl verwendet. Dieses lagert in Zellen und wird durch die Zubringerpumpe den Ölpumpen zugebracht. In der Doppelölpumpe wird das Öl in Kühlöl und Motorenöl getrennt. Das Kühlöl hat einen höheren Druck.

Das Motorenöl wird nun durch Filter und Kühler gedrückt und gelangt dann zu den Motoren, während das Kühlöl nur gefiltert wird. In der Kurbelwanne mischen sich wieder beide Öle und gelangen von dort zurück in die Zellen.

Kühlwasser

Bei den älteren Anlagen wird zur Kühlung der Zylinder Seewasser als Durchflußkühlung verwendet. Die anderen Anlagen haben Süßwasserumlaufkühlung, welches durch Seewasser rückgekühlt wird.

Spülluftgebläse (Abb. 123)

Die erforderliche Spülluft wird durch ein Gebläse gefördert, das über eine federnde Kupplung von der Hilfsmaschinenwelle mit 3000...4200 U/min angetrieben wird und die Spülluft mit $\approx 0,3$ at in den Spülluftaufnehmer drückt.

Instandhaltung der Motoren

1. Zylindermittelstück und Hauben

Nach etwa 300 ... 500 Betriebsstunden (je nach Beanspruchung) sind durch Stichproben die Kühlräume der Zylinderhauben auf Anrosten, Kesselsteinansatz usw. zu untersuchen. Obacht auf die Dichtungsflächen zwischen Flansch des Kühlmantels und der Zylinderhaube, sowie Haube und Mittelstück! Vor dem Zusammenbau diese Dichtungsflächen ganz dünn mit Kopallack anstreichen!

Zylinderschrauben sehr fest anziehen!

Aufsetzen einer neuen Haube

Prüfung auf Fluchten der Laufflächen. Vorstehende Kanten mit Widiastein überschleifen.

Kurbelwellen und Treibstangen

Von Zeit zu Zeit gleich nach dem Abstellen Prüfung des Triebwerkes auf Temperaturen!

Alle 300 Betriebsstunden Lagerspiele nachprüfen. Zulässige Lose bis zum doppelten Betrag.

Nachpassen der Treibstangenlager durch Zusammenfeilen (keine Unterlegbleche), danach auftuschen.

Bei Grundüberholungen unter Ausbau des Triebwerkes Kurbelwelle auf Lagerung prüfen. (Sonst Biegebeanspruchungen und Wellenbrüche!) Im allgemeinen genügt es, wenn die Oberschale nachgepaßt wird.

Bei Ausbau eines Grundlagers Ankerschrauben lösen. Nachher wieder Vorspannung 1,6 mm geben.

Triebwerksteile

Kolbenprüfung: Kolbenringe und Laufflächen ansehen, desgleichen Kolben auf Dichtigkeit prüfen.

Kolbenausbau: Entfernen der Rohrverbindungen der oberen Haube. Abheben der oberen Haube unter Ausbau des Treibölventils für die Anhängevorrichtung.

Die Sicherung des Ölablaufringes und Mutter entfernen.

Ölablaufring hochschieben.

Die Kolbenstangenmutter lösen unter Festsetzen der Stange durch eine Schelle (Markenstift).

Abstützen des Kreuzkopfzapfens.

Kolbeneinbau: Einführen mit kegeliger Buchse. Unteres Gewinde nicht beschädigen! Alle Gewinde sorgfältig reinigen und mit einer Mischung von Öl und Schwefelblüte einschmieren.

Die Stopfbuchse im ganzen ein- und ausbauen. Obere Ringe der Stopfbuchse erhalten 3/100 mm Spiel (Brandringe), Stöße der Kammerringe etwa 0,3 mm.

Rauhe Kolbenstangen mit Kupferbuchse und feiner Schleifmasse glätten.

Die Kolbenstangenmutter erst nur bis 80 mm einschrauben (siehe Betriebsvorschrift), dann die Kolbenstange aufsetzen. Auf Zeichen achten. Vor dem Anziehen der Kolbenmutter eine Schelle um Stange und Druckvorrichtung an Kreuzkopf legen.

Ölablaufrohre müssen nach Festmachen noch Spiel haben.

Bei neuen Kolben die Muttern nach 8 ... 12 Stunden nachziehen, nach 100 ... 200 Betriebsstunden noch einmal.

Einbau von Kolbenringen

Kolbenringe (Duplexringe). Stark verkrustete und festsitzende Ringe mit Treiböl reinigen und lösen. Neue Ringe müssen am Stoß auf eine Länge von 60 ... 80 mm nach beiden Seiten um 0,6 ... 0,8 mm allmählich verlaufend hinterfeilt werden. Die Ringhälfte mit der Nute soll immer oben liegen. Vor dem Einbau muß das Spiel am Stoß durch Einlegen in den Zylinder geprüft werden. Es soll 1,6 ... 2,0 mm betragen.

Treibstange mit Kreuzkopf und Gleitbahn

Kolben und Zwischenboden ausbauen, Gleitbahn herausnehmen.

Kolbenkühlung

Gelenke bei größeren Überholungen ausbauen, reinigen und mit Dampf durchblasen. Sorgfältiges Entfernen und wieder Anbringen von Sicherungen!

2. Ventile in den Zylindern

Treibölnadelventile

Störungen: Verstopfen der Düsenlöcher. (Heißwerden der Pumpe und Druckleitung.)

Hängenbleiben der Nadel. (Durch Fühlen mit Stift festzustellen.)

Undichtwerden eines Nadelventils. (Viel Tropftreiböl.)

Ventile sollen bis 180 at nicht öffnen und darüber plötzlich abspritzen ohne Nachtropfen.

Anlaßventile und Steuerschieber

Die Steuerkolben der Anlaßventile und Steuerschieber sind von Zeit zu Zeit gut einzufetten. Prüfen auf Beweglichkeit nach Abnahme der Steuerluftleitung. Undichte Anlaßventile sofort auswechseln. (Heißwerden.)

Sicherheitsventile

Beim Abblasen die Leistung des Motors messen und Ursache der Störung feststellen. Vor Einbau eines neuen Ventils Abblasedruck auf 75 at nachprüfen.

Alle Ventile sitzen in Buchsen aus rostsicherem Stahl. Tritt Wasser aus einem Ventil, so kann eine Stopfbuchse lecken, die den Einsatz gegen den Wasserraum abdichtet. Hilft das Nachziehen nicht, dann ist der Gummiring zu erneuern. Leckt Wasser zwischen Ventilkörper und Einsatzbuchse, dann ist die Dichtung des Einsatzes beschädigt. Als Dichtungsmaterial ist „Abil" oder bestes schwarzes Vulcanfiber zu verwenden.

3. Treibölpumpen

Störungen: Fressen eines Pumpenstempels durch Schmutz im Treiböl; bemerkbar durch Aussetzen der Zylinderseite und hartes Schlagen der Rolle auf die Nocken. (Die Rolle hat dann sehr großes Spiel.)

Hängenbleiben eines Rückschlagventils oder eines Nadelventils

Die Zylinderseite setzt aus oder arbeitet unregelmäßig. Bei hängengebliebenem Rückschlagventil kann die verdichtete Luft durch das Nadelventil in die Pumpe gelangen und diese, sowie die benachbarten Pumpen zum Aussetzen bringen.

Bruch einer Pumpenfeder

Der Antrieb der Treibölpumpe fängt an zu schlagen. Pumpe ausbauen und Feder auswechseln. (Neue Stempel und Führungen bei kleiner Drehzahl einfahren!)

Einstellen der Füllung

Reglung der Füllung durch Verdrehen des Pumpenstempels. Nullfüllung ist bei jedem Stempel und jeder Stempelführung durch einen Strich markiert. Ferner hat jeder Zahnbogen einen Anschlag, der so eingestellt ist, daß dieser anliegt, wenn die beiden Risse übereinstimmen. (Nullfüllung.)

Beim Zusammenbau sollen die Pumpen am Anschlag anliegen.

Die Pumpen sind gleichmäßig eingestellt, wenn die Auspufftemperaturen übereinstimmen.

Einstellen der Einspritzzeit

Vom Zeitpunkt der Einspritzung hängt der Zünddruck ab. Prüfung beim Einbau neuer Pumpenstempel und Führungen oder neuer vollständiger Pumpen.

Man entfernt hierzu den Druckventileinsatz und die Zwischenplatte und drückt die Stempelführung herunter. Dann dreht man den Motor, bis der Stempel gerade das Saugeloch schließt. (Für Oberseite 11° vor O.T., für Unterseite 15° vor U.T. bei den Bremse-Motoren.)

Die Totpunktmarken sind auf dem Kuppelflansch eingeschlagen. Einstellen des Einspritzpunktes durch Verstellen der Nocken oder Beilage unter die obere Pumpe.

Auswechseln einer Treibölpumpe

Die Pumpe abschalten oder Hochschrauben des Führungskolbens mit der Rolle am Vierkant der Spindel. Saugeleitung zur Pumpe abstellen. Pumpe möglichst in Betriebspause auswechseln.

Auswechseln eines Pumpenstempels mit Führungsbuchse

Hat der Stempel leicht gefressen, mit Putzpomade wieder einschleifen. Meist muß die Buchse mit ausgewechselt werden. Der Stempel ist mit besonderer Vorrichtung aus der Buchse heraus-

zudrücken, die Markenschraube zu entfernen und danach die Führung mit Stempel. Die neue Führung ist von oben einzusetzen, der Stempel von unten. Stempel und Buchsen sind mit „ob." oder „unt." gezeichnet.

Bei fest angezogener Sicherheitsschraube muß sich die Buchse leicht bewegen lassen. Einhalten der Spiele beim Federteller (0,5 mm).

Auswechseln eines Rückschlagventils

Nach dem Abschalten von Treibölpumpen nebst Leitung den Einsatz mit Ventil herausnehmen.

Steuerungsantrieb und Auspuffdrehschieber

Die Kugellager der Auspuffschieber bei Grundüberholungen nachsehen und reinigen. Einstellen einer neuen Schieberwelle: wenn z. B. Oberkante des Kolbens sich mit Ende des Spülschlitzes deckt, soll der Schieber noch einen Spalt von 10 . . . 12 mm freilassen. (Einstellen durch Zähnchenkupplung des Kettenantriebes.) Ferner soll die Welle nach der Antriebsseite um 1 cm, entgegengesetzt um 3 mm vorgeschoben werden können.

Manövrier- und Regeleinrichtung

Anlaßvorrichtung: Steuerkolben einfetten.

Umsteuervorrichtung: Ölbehälter der Umsteuerung zeitweise auffüllen.

Reglereinrichtung: Gestänge soll leicht gehen.

Alle Motoren auf gleiche Füllung einregeln durch Verstellen der Federwaagen.

Auspuff- und Spülluftleitungen

Dauernde Prüfung auf Dichtigkeit durch Öffnen der Entwässerungen des Gasraumes. (Diese öfter durchstoßen wegen der Verschmutzung.)

Verdichter

Alle 6 Monate Kolben reinigen, alle 200 Stunden die Ventile. Bei stark verschmutzten Ventilen ungenügendes Arbeiten der Wasser- und Ölabscheider. Reinigen der Kühlerbündel in heißer Sodalösung, dann mit Dampf durchblasen. Schädlicher Raum Nd.-Stufe 1 mm, Hd.-Stufe 0,5 mm.

A n l a ß f l a s c h e n jährlich einmal untersuchen. Probedruck 90 at.

Ö l f i l t e r : Druckunterschied soll nicht mehr als 1 at betragen.

Kühlräume und Zinkschutz

Durch Abnahme der Kühlmäntel oder der Kernlochschrauben zu besichtigen. Bei starker Kesselsteinbildung Kühlräume mit verdünnter Salzsäure auskochen.

Im Winter Wasser ablassen.

C. Der MWM Vorkammermotor (Abb. 78)

Dieser Motor wird als Vier- und Zweitaktmaschine nach dem Vorkammerverfahren gebaut.

Die Vorkammer befindet sich im Zylinderkopf, ist entweder in der Mitte oder seitlich angeordnet und durch Bohrungen in der Brennkapsel mit dem Zylinder verbunden.

In die Vorkammer hinein ragt das Treibölventil (geschlossene Düse) und eine Glühspirale, die zum Anheizen der Luft und zur Aufbereitung des Treiböles beim Anfahren dient.

Als Treibölpumpen werden solche mit Nadelventil- oder Überströmventilreglung verwendet.

Durch den Betriebshebel, der in drei Stellungen gestellt werden kann, werden Nockenbündel auf der Nockenwelle verschoben. Die Stellungen sind: Entlüften, Anlassen und Betrieb.

D e r H e b e l d a r f n u r g e l e g t w e r d e n , w e n n d e r M o t o r g e d r e h t w i r d.

Die Nockenwelle wird durch Zahnradübertragung von der Kurbelwelle gesteuert.

Die Motorenölpumpe ist eine Zahnradpumpe, die das Öl aus der Kurbelwanne oder dem Sammelbehälter ansaugt und durch den Motor drückt.

Der Sicherheitsregler ist ein Fliehkraftregler, der durch Gestänge das Nadelventil oder das Überströmventil an der Treibölpumpe bei zu hohen Umdrehungen des Motors öffnet, so daß kein Treiböl mehr zum Zylinder gelangt.

Als Kühlwasser- und Lenzpumpen sind Kolbenpumpen angebracht, die von der Kurbelwelle angetrieben werden.

Bei Zweitaktmaschinen arbeitet die untere Kolbenseite als Spülluftpumpe; die Luft wird durch Plattenfederventile angesaugt und in die als Spülluftaufnehmer ausgebaute Kurbelwanne gedrückt.

D. Der Junkers-Motor (Abb. 125)

Die Junkersmaschine wird als Zweitaktmaschine gebaut. Im Zylinder arbeiten zwei Kolben, deren Kolbenböden den linsenförmigen Brennraum bilden. Der obere Kolben steuert die am oberen Ende im Zylinder eingeschnittenen Spülluftschlitze und ist mit einem Querbalken versehen. Von diesem greifen zwei Treibstangen an die Kurbelwelle. Der untere Kolben greift mit einer Treibstange in die Kurbelwelle und steuert die Auslaßschlitze.

Die Kurbeln sind bei unmittelbar umsteuerbaren Maschinen um 180° versetzt. Bei Maschinen mit gleicher Drehrichtung ist die Versetzung der Kurbeln so angeordnet, daß der untere Kolben die Auslaßschlitze früher frei gibt und früher schließt. Dadurch ergibt sich eine bessere Spülung und Aufladung des Zylinders. Auf dem oberen Kolben ist der Spülluftkolben angebracht. Die Sauge- und Druckventile sind Plattenventile. Der Spülluftkolben drückt die Luft in den Spülluftaufnehmer. Die Spülluft erhält durch die Eintrittsöffnungen eine drehende Bewegung, die auch im Verdichtungshub anhält und eine gute Treibölwirbelung hervorruft.

Die Junkers-Treibölpumpe mit Schrägkantenregelung drückt das Treiböl über das Druckventil, in welchem sich zwei Kugelventile befinden, über die offene Düse in den Zylinder. Der Motor arbeitet also mit unmittelbarer Druckeinspritzung.

Der Sicherheitsregler ist ein Kugelfliehkraftregler, der einen Kegel entgegen dem Druck einer Feder nach oben bewegt. Auf der Kegelfläche läuft eine Rolle, die durch Hebelübertragung den Treibölkolben verdreht. Unter den Kegel greift auch der Betriebshebel.

Ein Hebel dient zum Vorpumpen des Treiböles und zum Abstellen des Motors. Er greift unter die Übertragung des Treibölnockens.

Die Reglerwelle treibt gleichzeitig die Motorenölpumpe (Zahnradpumpe) an, die an der tiefsten Stelle im Gehäuse eingebaut ist, das Öl unmittelbar ansaugt und durch den Motor drückt. In der Öldruckleitung befindet sich eine Abzweigung zum Druckmesser und ein Überdruckventil.

An der Schwungradseite werden durch eine Scheibenkurbel die Kühlwasser- und die Lenzpumpe angetrieben.

Der Junkers-Luftverdichter 4 FK 115 (Abb. 126)

Der Junkers-Luftverdichter ist eine unmittelbare Vereinigung von Kraft- und Arbeitsmaschine in liegender Anordnung. Der in der Mitte der Maschine arbeitende Antriebsmotor ist ein Junkers-Zweitakt-Dieselmotor mit zwei gegenläufigen Kolben und direkter Einspritzung des Treiböles in den Motorzylinder. Bei der 4stufigen Bauart ist der linke Motorkolben 1 durch eine Kolbenstange mit dem Verdichterkolben 3 der Stufe I und dem Verdichterkolben 4 der Stufe IV fest verbunden. In der gleichen Art verbindet eine Kolbenstange den rechten Motorkolben 2 mit dem Verdichterkolben 5 der II. Stufe und dem Verdichterkolben 6 der III. Stufe. Die gegenläufigen Motorkolben 1 und 2 sind durch vier Zahnstangen 7 und dazwischenliegende Zahnräder 8 miteinander gekuppelt und können somit bei ihren entgegengesetzten Bewegungen in gleichen Zeiten gleiche Hubwege zurücklegen.

Zur Spülung des Antriebsmotors werden die tangential angeordneten Einlaßschlitze 9 durch den Motorkolben 1 und die Auslaßschlitze 10 durch den Kolben 2 gesteuert.

Beim Spülvorgang wird also die Luft den Zylinder in gleicher Richtung durchstreichen und somit die Verbrennungsgase restlos in den Auspuff schieben. Die tangentiale Anordnung der Einlaßschlitze 9 versetzt die Spülluft in eine drehende Bewegung, wodurch eine Durchwirbelung von Luft und Treiböl gegeben ist. Die erforderliche Spülluft wird von der Innenseite des Verdichterkolbens 3 (I. Stufe) bei seinem Auswärtsgang durch die Saugventile 11 im Zwischengehäuse angesaugt. Die angesaugte Spülluft wird während des ersten Teils des Einwärtshubes über die Druckventile 12 und 13 in den Spülluftaufnehmer 14 gefördert. Hat der Kolben 3 die Druckventile 12 in der Mitte der Laufbuchse überlaufen, so wird die Luft nur noch durch die Druckventile 13 der Ventilplatte in den Aufnehmer 14 gedrückt. Auch beim ersten Teile des Auswärtsganges des Verdichterkolbens 3 wird von seiner Arbeitsseite durch die Druckventile 12 Spülluft in den Aufnehmer gefördert.

Kurz vor Ende des Einwärtshubes der Motorkolben 1 und 2 spritzt das Treibölventil 15 Treiböl ein. Die Zündung erfolgt durch die bei der Verdichtung erhitzte Frischluft.

Die entstehenden Verbrennungsdrucke treiben die beiden Kolben wieder auseinander. Auf diesem Arbeitshub wird die Arbeit von den Motorkolben 1 und 2 unmittelbar an die Verdichterkolben zur Verdichtung der Luft in die Stufen I, II, III und IV abgegeben.

Die in den Toträumen der Verdichterzylinder befindliche Luft dehnt sich wieder aus und treibt dabei auf dem Einwärtshub die Motorkolben 1 und 2 in ihre Mittellage zurück. Durch die Triebkraft der Luft können somit die Motorkolben ihre Spül- und Verdichtungsarbeit leisten. Der ununterbrochene Lauf der Verdichter vollzieht sich ohne Kurbeltrieb und Schwungrad, so daß die gesamte im Verbrennungsraum freigewordene Wärmeenergie in Arbeit für die Luftverdichter umgewandelt wird.

Beschreibung der Einzelteile

1. Antriebsmotor

Das zylindrische Gehäuse besteht aus dem miteinander verschraubten Motorgehäuse Auspuffseite und Zwischengehäuse Spülluftseite. In das Motorgehäuse ist eine Laufbuchse eingezogen und in den Sitzen mit Gummiringen abgedichtet. Links sind in die Laufbuchse die Spülschlitze und rechts die Auspuffschlitze eingearbeitet. Der Raum zwischen Gehäuse und Laufbuchse dient als Kühlraum. Jeder Motorkolben ist mit drei Kolbenringen ausgerüstet. Als erste Dichtung gegen den Verbrennungsraum liegt vor den Kolbenringen noch ein Feuerring, der durch eine mit dem Kolben verschraubte Kolbenplatte gehalten wird. Die Verbindung der Zahnstangen mit den Kolbenstangen ist durch je ein Querhaupt gegeben. Das Querhaupt der Auspuffseite ist stramm in die Kolbenstange eingepaßt, während das Querhaupt auf der Spülseite in dem Lagerbolzen der Kolbenstange sich um einen kleinen Winkel drehen läßt. Kleine Ungenauigkeiten in den Getriebeteilen können somit ausgeglichen werden. Das durch die Zahnstangen 7 und Zahnräder 8 gebildete Kupplungsgetriebe bewirkt:

1. den Gleichlauf der Kolben,
2. den Kraftausgleich zwischen den beiden Verdichtergruppen,
3. den Antrieb der Treibölpumpe und des Boschölers,
4. den Antrieb der angebauten Kühlwasserpumpe.

Jedes der beiden Zahnräder 8 ist auf eine Welle aufgeschrumpft, die in je einem Nadellager ruht. Zur Verhinderung einer Längsverschiebung sind am Motorgehäuse Anlaufplatten vorhanden, gegen die die Wellen mit einem Kugellager anlaufen. Die vordere Welle dient zum Antrieb der Treibölpumpe. Von der hinteren Welle werden die Kühlwasserpumpe und über eine Scheibenkurbel der Boschöler angetrieben.

2. Der Verdichter (Abb. 127).

Er besteht aus zwei Gehäusen, die auf beide Seiten des Antriebsmotors verteilt sind. Das linke Gehäuse nimmt die Verdichterkolben der Stufen I und IV, das rechte Gehäuse die Kolben der Stufen II und III auf. Die Verdichterkolben der Stufen III und IV sind durch Kugelgelenke mit den Kolben der Stufen I und II verbunden. Durch gleiche Gewichte beider Kolbengruppen wird ein vollständiger Massenausgleich erzielt, es können somit keine freien Kräfte auf die Maschinenbefestigungen nach außen hin wirken.

Im Gegensatz zu den übrigen Verdichterkolben fördert der Kolben der Stufe I nicht nur mit seiner Außenseite Druckluft, sondern auch mit seiner Innenseite sowie auch zum Teil mit seiner Außenseite die Spülluft in das als Aufnehmer ausgebildete Zwischengehäuse.

An den Enden eines jeden Verdichterzylinders ist eine große Anzahl kleiner Sauge- und Druckventile vorgesehen. Undichtigkeiten einzelner Ventile in den ersten beiden Stufen beeinflussen die Leistungen der Maschine nur wenig. Das Verdichtergehäuse der Stufe I ist unter Zwischenschaltung einer Ventilplatte mit den Druckventilen für die Spülluft an das Zwischengehäuse des Motors geschraubt. Nach der Motorseite hin sitzen in einem Ventilboden die Spülluftsaugeventile. Der Verdichterkolben selbst läuft in einer Laufbuchse, die in der Mitte einen Kranz von weiteren 24 Druckventilen für die Spülluft besitzt. Beim Auswärtsgang des Kolbens der Stufe I wird also auf dem halben Hubwege ein Teil der zur Verdichtung bestimmten Luft in den Spülluftaufnehmer gedrückt, da die von der Innenseite des Kolbens geförderte Luft zur Spülung nicht ausreicht. Verdichtergehäuse und Laufbuchse der Stufe I werden von einem Ventilhut mit 31 Saugeventilen in der Stirnwand und 24 Druckventilen im Rand abgeschlossen. Im Ventilhut sind noch drei Kupferbolzen eingesetzt, die den Anprall der linken Kolbengruppe abfangen, falls die Kolben infolge einer Störung einen zu großen Hub zurücklegen.

Das Gehäuse der Stufe I wird durch einen Deckel abgeschlossen, in den der Verdichterkopf mit der Laufbuchse der Stufe IV eingesetzt ist. Die gesamte Stufe IV liegt also im durchbrochenen Kolben und in der hohlen Kolbenstange der Stufe I. Der Verdichterkolben der Stufe IV ist als Kammerkolben ausgebildet, d. h. auf den Kugelbolzen im Kolben sind nacheinander der Kolbenboden, die einzelnen Kammern mit je einem Kolbenring und der Kolbendeckel aufgesetzt und mit ihm durch eine Mutter verschraubt.

Der rechte Teil des Verdichters mit den Stufen II und III ist in der gleichen Weise aufgebaut.

3. Die Luftkühler

Die stufenweise verdichtete Luft muß ebenfalls stufenweise gekühlt werden. Die dazu erforderlichen Luftkühler liegen unter der Maschine in der folgenden Reihenfolge, von vorn nach hinten gesehen:

Kühler II,
Kühler III,
Kühler IV,
Kühler I.

Der Kühler für die aus Stufe I kommende Luft besteht aus einem rohrförmigen Mantel, in den ein Kühlrohr eingeschoben ist. Das Kühlrohr ist auf der Kühlwassereintrittsseite an den Mantel angeschraubt. Zu seiner Durchführung auf der Austrittsseite dient eine Stopfbuchse; Längsverschiebungen zwischen Mantel und Kühlrohr können somit ausgeglichen werden. Die aus Stufe I kommende Luft wird im Mantelrohr um das Kühlrohr herumgeführt. In der Mitte des Kühlers befindet sich ein Anschlußstutzen, von dem eine Luftleitung zum selbsttätigen Anlaßventil führt.

Im Gegensatz hierzu geht die Luft für die Kühler der Stufen II, III und IV durch mehrere Kühlrohre, während das Wasser diese Rohre von außen umspült. Die Kühlrohre münden an den Enden in Rohrköpfe, die stopfbuchsenartig in den Mantel eingesetzt sind. Es können somit Längsverschiebungen aufgenommen werden. Zum Unterschied gegenüber Kühler III und IV wird die Luft im Kühler II im Hin- und Rückgang durch den Kühler geführt. Luftein- und Austrittsstutzen liegen beim Kühler II, also auf der gleichen Seite.

Am Luftaustritt des Kühlers IV ist zur Sicherung des Verdichters ein Sicherheitsventil mit nachfolgendem Druckhalteventil vorgesehen.

a) Das Druckhalteventil (Abb. 131)

Es sorgt dafür, daß der Luft aus der IV. Stufe der Weg zum Hochdruckverteiler dann freigegeben wird, wenn sie einen Druck über 150 atü hat, da der Verdichter erst von 150 atü an einwandfrei arbeiten kann. Das Ventil ist als Kugelventil ausgebildet und arbeitet ähnlich einem Sicherheitsventil, indem der Luftdruck die Kugel gegen eine auf 150 atü eingestellte Feder anhebt. Außerdem verhindert noch ein Kugelrückschlagventil das Zurückströmen der Luft aus den Sammelflaschen. Ein von Hand zu bedienendes drittes Kugelventil ist für die Entlüftung bestimmt.

b) Das Sicherheitsventil

Zwischen Luftkühler und Druckhalteventil liegt das Sicherheitsventil. Es hat den Zweck, bei Überschreitung des Höchstverdichtungsdruckes von 205 atü den Dieselluftverdichter abzustellen. Bei Erreichung dieses Druckes wird ein Kegel gegen eine auf 205 atü eingestellte Feder angehoben. Die entweichende Luft strömt über ein Anschlußstück zu einem kleinen Kolben, der mit dem einen Ende der Regelstange der Treibölpumpe verbunden ist. Die Treibölpumpe, Bauart Junkers, hat Schrägkantenregelung, d. h. sobald die Luft aus dem Sicherheitsventil hinter den Kolben tritt, wird die Regelstange so verschoben, daß die geförderte Treibölmenge nicht mehr zum Antrieb des Motors genügt, er bleibt also von selbst stehen.

Zum Luftverdichter gehören noch folgende Hilfseinrichtungen:

a) Die Anlaßvorrichtung mit dem selbsttätigen Anlaßventil,
b) das Handanlaßventil,
c) in der Mitte der Maschine die Treibölpumpe und Treibölventil, Bauart Junkers,
d) auf der Rückseite der Maschine die Kühlwasserpumpe,
e) der in das Motorgehäuse eingebaute Boschöler,
f) eine Tafel mit vier Druckmessern.

Die Anlaßeinrichtung

Diese Einrichtung besteht aus dem Handanlaßventil, der Anlaßvorrichtung und dem selbsttätigen Anlaßventil, alle drei Geräte treten beim Anlassen in Tätigkeit.

Das Handanlaßventil (Abb. 129)

steht mit der Anlaßluftflasche in Verbindung. Es besitzt zwei übereinander liegende Ventile, die von einem gemeinsamen Handhebel nacheinander betätigt werden können. Das eine Ventil steht mit der Verdichterstufe I, das andere Ventil mit der Stufe II und von hier aus mit den Stufen III und IV und den Kühlern in Verbindung.

Die Anlaßvorrichtung (Abb. 130)

ist oben auf dem Zwischengehäuse des Motors angebracht. Sie besteht aus einem Schlagkolben, der in der einen Totlage durch eine Feder festgehalten wird. Ferner gehören zur Vorrichtung ein Schlagbolzen, ein Knickhebel und die Anlaßklinke. Letztere dient zum Festhalten der Motorkolben in ihrer Anlaßstellung mit Hilfe eines Ansatzes an dem einen Querhaupt. Während des Betriebes wird der Knickhebel durch einen Sicherungsbolzen in der eingeknickten Stellung festgehalten. Der auf dem Lagerbolzen des Knickhebels aufgesetzte Handhebel bringt vor dem Anlassen des Motors den Knickhebel in Streckstellung.

Das selbsttätige Anlaßventil (Abb. 130)

sitzt auf der Anlaßvorrichtung und hat durch einen Kanal Verbindung mit der einen Fläche des Schlagkolbens. Der Ventilkegel des Anlaßventiles ist kolbenförmig ausgebildet und wird durch eine auf etwa 6 atü eingestellte Feder auf seinen Sitz gedrückt. Somit ist die Luftleitung vom Kühler I gesperrt.

Der Anlaßvorgang (Abb. 132)

Das Anlassen des Verdichters geschieht auf folgende Weise:

Entlüftungsventil am Druckhalteventil öffnen, damit beim Bewegen der Kolben von Hand keine Verdichtung eintritt.

Handkurbel auf Getriebewelle der Treibölpumpe aufsetzen; Kolben durch Rechtsdrehen der Handkurbel ganz nach außen fahren, damit in die Motorlaufbuchse eingedrungenes Wasser auslaufen kann; Sicherheitsbolzen der Handanlaßvorrichtung anheben; Knickhebel durch Linksdrehen des Handhebels strecken, Anlaßklinke bewegt sich nach unten.

Handkurbel nach links drehen, bis Ansatz des Querhauptbolzens des Motorkolbens gegen die Anlaßklinke liegt.

Handkurbel abnehmen.

Entlüftungsventil am Druckhalteventil schließen.

Treibölpumpe mit Vorpumpeneinrichtung betätigen, nicht mehr als 2 . . . 3mal.

Handhebel des Handanlaßventiles nach rechts legen, bis er am Anschlagstift des Ventilgehäuses anliegt, dadurch tritt Anlaßluft mit einem Druck von 27 atü zum Verdichter II, weiter nach Kühler II, Verdichter und Kühler III und IV, Sicherheitsventil, und schließlich Druckhalteventil.

(Anlaßdruck 27 atü genau einhalten)

Anlaßdruck am Druckmesser Stufe III beobachten.

Handhebel des Handanlaßventiles weiter nach rechts drehen, dadurch Öffnen des unteren Anlaßventiles. Anlaßluft tritt nach Zylinder und Kühler Stufe I; auf 4 kg/cm² füllen. Anlaßhebel zurücknehmen und nochmals II., III. und IV. Stufe auf 27 kg/cm² nachfüllen, dann *sofort* Handhebel nach rechts legen und I. Stufe füllen bis zum Ausklinken; dabei darf der Druck in der I. Stufe 6 kg/cm² nicht übersteigen.

Durch den Eintritt der Anlaßluft in den Kühler I wird der Anlaßvorgang folgendermaßen bewirkt:

Vom Kühler I gelangt die Anlaßluft zum selbsttätigen Anlaßventil, öffnet bei 6 atü den Ventilkegel gegen den Federdruck, der Schlagkolben fliegt schlagartig nach links, trifft auf den Schlagbolzen, der Knickhebel knickt ein und gibt die Anlaßklinke frei. Der von der Klinke bisher festgehaltene Querhauptbolzen wird frei, so daß sich die Kolben durch die Ausdehnung der Anlaßluft gegeneinander bewegen. Die beiden Motorkolben laufen durch den Anlaßluftdruck auf einen Abstand von 14 mm zusammen und verdichten dabei die zwischen den Kolben befindliche Verbrennungsluft.

Da das Druckhalteventil erst bei Erreichung eines Druckes von 150 atü öffnet, wird während der ersten Arbeitshübe nach dem Anlassen noch keine Druckluft abgegeben.

Es ist beim Anstellen des Verdichters darauf zu achten, daß der Anlaßdruck genau 27 kg/cm² beträgt. Bei höherem Druck besteht die Gefahr, daß beim Einwärtsgang der Motorkolben Schäden auftreten können. Bei niedrigerem Anlaßdruck würden beim Auswärtsgang die Verdichterkolben gegen die Bolzen des Verdichtergehäuses stoßen. Es wird noch einmal darauf hingewiesen, daß vor dem Anstellen *die Handkurbel für die Betätigung der Motorkolben abzunehmen ist.*

Kühlung und Schmierung

Die Kühlung der Druckluft erfolgt nach dem Gegenstromverfahren. Das Kühlwasser wird von der Kühlwasserpumpe durch den Kühler IV zum Kühlmantel der Motorlaufbüchse gedrückt. Von hier fließt es nacheinander zum Verdichter I — Verdichter IV — Kühler III — Verdichter III — Verdichter II — Kühler I — Kühler II und dann zum Kühlwasseraustritt, in den ein Schauglas eingebaut ist.

Zur Versorgung der Schmierstellen mit Öl dient ein Boschöler, der das Öl aus einem im Motorgehäuse untergebrachten Ölbehälter saugt.

Für einen gleichmäßigen Gang des Verdichters ist es von Wichtigkeit, daß beide Kolbengruppen gleiche Gewichte haben. Bei Auswechslung einer oder beider Kolbengruppen ist auf alle Fälle dieser Zustand zu beachten. Da der Luftverdichter in seinen Maßen ausgeglichen ist, treten keine nach außen wirkenden freien Kräfte auf, so daß die Maschine keinerlei Fundamente benötigt.

Aus dem gesamten Arbeitsverfahren ergeben sich besondere Eigenschaften des Dieselluftverdichters.

Die Höhe der Verbrennungsdrucke ist nicht mehr von der Belastungsfähigkeit des Kurbeltriebes abhängig. Die Zünddrucke können daher zur Verbesserung der Wärmewirtschaftlichkeit über die in Dieselmotoren üblichen Grenzen gesteigert werden. Die Folge ist ein entsprechend niedriger Treibölverbrauch.

Durch die Vereinigung von Dieselmotor und Verdichter zu einer geschlossenen Maschineneinheit unter Fortfall aller schweren bewegten Teile und unter Vermeidung von hohen Triebwerks- und Gehäusebeanspruchungen wird das Gesamtgewicht der Maschine sehr klein. Die gedrungene zylindrische Bauform erfordert keinen großen Raumbedarf.

Infolge Fortfall von Kurbeltriebwerk und schweren Schwungmassen kann die Maschine mit einem einzigen Anlaßhub sofort auf ihre normale Gangart, d. h. auf ihre normale Hubzahl in der Minute anspringen.

Die Betriebsvorschriften sind genau zu befolgen, da die Maschine sehr empfindlich ist.

E. Die Schnellbootsmotoren

1. MAN Motoren

Als Antriebsmotoren für Schnellboote fanden doppeltwirkende Zweitaktmotoren der MAN Verwendung, die in ihrem Aufbau vollkommen den vorher beschriebenen Marinemotoren gleichen. Um eine besonders leichte Bauart zu erreichen, sind die Kolben, Gebläse, Pumpen usw. aus Leichtmetall ausgeführt.

Die Maschinen wurden in Sieben-, Neun- und Elf-Zylinderbauart ausgeführt und leisten bis zu 2000 PS.

Alle Hilfsmaschinen werden von dem Hauptmotor unmittelbar angetrieben, das Gebläse unter Zwischenschaltung einer federnden Kupplung mit starker Übersetzung.

Die Schraube wird ohne Getriebe unmittelbar vom Motor angetrieben.

Die Kühlung erfolgt durch enthärtetes Wasser, das durch Seewasser zurückgekühlt wird. Beim Anfahren muß das Kühlwasser angeheizt werden, um die ersten Zündungen sicher zu stellen.

Die Auspuffdrehschieber sind nicht gekühlt, die Steuerwelle wird durch Zahnräder angetrieben und nicht durch Kuppelstangen wie beim Marinemotor.

Die Motoren sind unmittelbar von Hand umsteuerbar und werden durch Druckluft angelassen. Die Ergänzung der Luft geschieht durch einen Verdichter mit eigenem Antrieb.

2. Schnellbootsmotoren von Daimler-Benz (Abb. 127 und 128)

Der Motor arbeitet als Viertakt-Einspritzdieselmotor nach dem Vorkammerverfahren. Das durch eine Bosch-Zapfendüse mit einem Abspritzdruck von 110 at eingespritzte Treiböl trifft auf einen starken Glühkörper im unteren Teil der Vorkammer, der durch die Verbrennung in der Kammer und im Hauptbrennraum stark erhitzt wird. Der Zündverzug hält sich dadurch in sehr geringen Grenzen. Der Verdichtungsdruck beträgt 40 at, der Zünddruck in der Vorkammer 50 ... 52 at. Der Motor arbeitet mit 1650 Umdrehungen je Minute, die Untersetzung zur Propellerwelle ist 2:1 bzw. 1,72:1.

Die Motoren sind als Viertaktmaschinen mit 16 oder 20 Zylindern in V-Form gebaut. Die gegenüberliegenden Treibstangen sind paarweise zusammengefaßt und greifen an einen gemeinsamen Kurbelzapfen. Die Haupttreibstange ist gegabelt und umfaßt eine Stahlbuchse. Diese läuft mit Rollenlagern auf dem Kurbelzapfen. Auf der Außenfläche der Buchse, zwischen der Gabel der Haupttreibstange, läuft auf einem Bleibronzelager die Nebentreibstange.

Als Treibölpumpen werden Bosch-Pumpen verwendet. Je 4 bzw. 5 Pumpen sind zu einem Block vereinigt.

Schmierung. Aus dem Motorenölbetriebsbehälter fließt das Öl einer Hauptumlaufpumpe zu. Diese drückt das Öl über Ölfilter und Überdruckventil in eine Längsleitung, welche in das Unterteil des Motors eingegossen ist. Aus dieser Längsleitung saugen 8 bzw. 10 Doppelkolbenpumpen und drücken das Öl zu den Grundlagern. Durch düsenartige Bohrungen an den Grundlagern spritzt das Öl in die an der Kurbelwelle sitzenden Ölfangringe und wird von hier in die Kurbelzapfen geleitet. Am Ende der unteren Ölleitung führt ein Abzweig zu der oberen Ölleitung. Von der oberen Längsleitung werden die Nockenwelle und das vordere Grundlager geschmiert. Das ablaufende Öl wird von 2 Rückförderpumpen durch den Ölkühler in den Motorenölbetriebsbehälter gedrückt.

Kühlung. Zylinder und Auspuffsammelrohre werden mit Frischwasser gekühlt. Der Frischwasserkühler, der Ölkühler und die Hauptauspuffleitungen werden mit Seewasser gekühlt. Die Kolben werden nicht gekühlt.

Anlassen und Umsteuern. Das Anlassen und Umsteuern erfolgt mit Druckluft, die durch besonders angetriebene Verdichter ersetzt wird.

F. Bootsmotoren

1. Der MWM Bootsmotor

Die Motoren der MWM werden als Luftspeichermaschinen in 2 . . . 6-Zylinderbauart gebaut und finden bei der Marine als Hilfsmotoren mit gleichbleibender Drehzahl zum Antrieb von Lichtmaschinen und als Bootsmotoren Verwendung.

Das Kurbelgehäuse ist aus Leichtmetall hergestellt. Der untere Teil ist als Ölwanne ausgebildet. Im Kurbelgehäuse-Oberteil ist die Kurbelwelle gelagert. Handlöcher gestatten von beiden Seiten eine Kontrolle des Kurbelgehäuse-Innern.

Die Kurbelwelle ist aus hochwertigem Stahl aus einem Stück hergestellt. Sie ist in hängenden Lagerdeckeln in Weißmetallagern gelagert.

Je 2 Zylinder und Zylinderköpfe sind zu einem Block vereinigt, so daß sich eine sehr bequeme Abbaumöglichkeit ergibt. Die Laufbuchse ist auswechselbar. Eine Spezialdichtung ermöglicht das Abdichten zwischen Zylinder und Zylinderkopf. An den Zylindern sind auf der Treibölpumpenseite die Treibölventile schräg nach unten abnehmbar angeordnet. In den Zylinderköpfen sitzen die schräg nach oben herausnehmbaren Luftspeicher.

In dem Speicheroberteil ist die Glühspirale angebracht. Die Ein- und Auslaßventile sind hängend angeordnet. Die Betätigung der Ventile erfolgt von der Nockenwelle aus mittels Stoßstangen und Ventilhebeln.

Die Kolben bestehen aus Leichtmetall und besitzen 6 Kolbenringe. Der oberste Ring ist als U-Ring ausgebildet, während die beiden unteren Ringe als Ölabstreifringe dienen. Der Kolbenbolzen ist schwimmend eingesetzt und durch Seegerringe gesichert.

Die Treibstange hat doppelt-T-förmigen Querschnitt und ist in ihrer Längsrichtung durchbohrt, um das Öl vom Kurbelzapfen zum Kolbenbolzen zu leiten.

Die Nockenwelle ist in etwa halber Motorhöhe angebracht. Der Antrieb erfolgt durch Stirnräder von der Kurbelwelle aus. Die Nocken für Ein- und Auslaßventile sind mit der Welle aus einem Stück gefertigt. Außer dem Ein- und Auslaßnocken befinden sich auf der Nockenwelle für jeden Zylinder noch ein Entlüftungs- und Hilfsnocken, welche durch entsprechende Verschiebung auf der Nockenwelle verhindern, daß sich die Ein- bzw. Auslaßventile beim Andrehen ganz schließen können.

Die Regelung erfolgt durch einen Fliehkraftregler, der seinen Antrieb über den Treibölpumpen-Antrieb vom Stirnrad der Nockenwelle aus erhält und sich an der linken hinteren Motorseite befindet. Dieser Regler stellt die Fördermenge der Treibölpumpe der jeweiligen Belastung des Motors entsprechend ein, indem er über eine Hebelübersetzung die Zahnstange der Boschpumpe verschiebt. Bei den Bootsmotoren ist außerdem eine Veränderung der Drehzahl in weiten Grenzen notwendig, die dadurch bewirkt wird, daß die Hauptfeder mittels Seilzug und Zugstange während des Laufes des Motors von Hand gespannt werden kann, wobei der Regler gleichzeitig die Füllung an der Treibölpumpe entsprechend der Drehzahl und Belastung einstellt. Eine besondere Zusatzfeder im Regler sorgt für einwandfreien Leerlauf bei jenen niedrigsten Drehzahlen, bei welchen die Hauptfeder noch nicht anspricht.

Um den Motor von Hand an- bzw. durchdrehen zu können, befindet sich eine Andrehvorrichtung an der Stirnseite des Motors in Höhe der Zylinderköpfe. Der Andrehzapfen ist mit der Kurbelwelle durch Kettenantrieb mit Freilauf verbunden, der in einem besonderen Gehäuse eingekapselt ist. Gleichzeitig ist dabei die Steuerwellenverschiebung zu betätigen.

An der vorderen Stirnseite des Motors befinden sich zwei Kolbenpumpen, die von der Nockenwelle mittels Scheibenkurbel angetrieben werden. Die eine Pumpe dient als Kühlwasserpumpe, die andere als Lenzpumpe.

Die Schmierung des Motors ist als Druckumlaufschmierung ausgebildet. An der rechten Seite des Motors ist eine Neidig-Motorenöl-Zahnradpumpe angebaut, die über ein Saugrohr das Motorenöl an der tiefsten Stelle der Ölwanne ansaugt und es über einen Motorenöldoppelfilter zum Ölkühler drückt. Von dort gelangt das Öl nach der Hauptverteilerleitung. Hier ist ein Regelventil angeordnet, das auf den vorgeschriebenen Öldruck eingestellt ist. Die Kontrolle des Ölstandes erfolgt durch einen auf der linken Motorseite herausnehmbaren Ölstab mit 2 Markierungen.

2. MAN Bootsmotoren

Die MAN Bootsmotoren mit Nachkammer- und Vorkammerverfahren arbeiten als Viertaktmotoren.

Die ersten Nachkammermotoren wurden mit 2 Nachkammern, die neueren nur mit einer Nachkammer gebaut (Abb. 79). Sind zwei Nachkammern vorhanden, so sind diese zum Anlassen abschaltbar. Dadurch wird die Verdichtung erhöht, und der Motor springt auch im kalten Zustand an. Nach dem Anlassen müssen die Kammern sofort wieder zugeschaltet werden, da sonst der Motor mit zu harten Zündungen läuft.

Als Treibölpumpen dienen Boschpumpen mit Schrägkantenregelung, die das Treiböl zu den Bosch-Treibölventilen mit geschlossener Düse drücken. Bei Motoren mit 2 Nachkammern ist das Treibölventil seitlich den Nachkammern gegenüber angeordnet, wodurch eine gute Wirbelung zwischen Treiböl und Verbrennungsluft erreicht wird.

Die Treibölzubringerpumpe ist eine Membranpumpe, die das Treiböl in einen Behälter drückt, von wo es den Pumpen zuläuft.

Zwischen der Kühlwasserdruck- und Saugeleitung ist oft eine Verbindungsleitung eingebaut. Diese Leitung dient zum Vorwärmen bei zu kaltem Motor. Man läßt das Kühlwasser nicht nach außenbords abfließen, sondern das Wasser läuft der Kühlpumpe erneut zu und wird im Kreislauf durch den Motor gedrückt.

3. Der DW Bootsmotor

Die DW Motoren werden als Schnelläufer in leichter und schwerer Ausführung gebaut. Der Motor ist vollkommen gekapselt, alle sich bewegenden Triebwerksteile sind öldicht abgeschlossen.

Das Kurbel- und Zylindergehäuse ist als Blockgußstück ausgebildet. Die Kurbelwellenlagerdeckel sind mittels durchgehender Zuganker aus Sonderstahl mit dem Kurbelgehäuse verbunden. Die Zuganker nehmen somit die Verbrennungsdrucke und die Kraftübertragung auf, so daß das Kurbelgehäuse vollständig von Zugkräften entlastet ist.

Die Zylinderdeckel sind einzeln abnehmbar, wodurch die Prüfung des Kolbens und das Einschleifen der Ventile sehr erleichtert wird. Alle Zylinder sind mit auswechselbaren Buchsen aus Sondergußeisen versehen.

Die Kurbelwellen sind aus Stahl in einem Stück angefertigt. Sie werden in hängenden Lagerdeckeln in Weißmetallagern gelagert.

Die Arbeitskolben bestehen aus Leichtmetall. Sie besitzen außer den Kolbenringen noch zwei Ölabstreifringe.

Im Treibstangenkopf sind die Kolbenbolzen in zweireihigen Nadellagern gelagert; sie erfordern keine besondere Schmierung und haben praktisch keine Abnutzung, wodurch die Betriebssicherheit des Motors wesentlich erhöht wird.

Den unteren Abschluß des Motors bildet die Kurbelwanne; durch Abnehmen derselben läßt sich die Kurbelwelle vollständig freilegen. Im Kurbelgehäuse sind seitlich große, mit Deckeln versehene Öffnungen vorgesehen, die ein Befühlen der Wellen und Kurbellager sowie einen Ausbau der Kolben und Treibstangen nach oben gestatten.

Die Steuerwelle ist im Kurbelgehäuse derart gelagert, daß sie seitlich ausgebaut werden kann. Sie erhält ihren Antrieb an der Schwungradseite durch Stirnräder aus Stahl.

Die Regelung des Motors geschieht folgendermaßen:

1. Füllungsregelung von Hand,
2. Drehzahlverstellung durch einen verstellbaren Regler.

Unmittelbar vor jedem Zylinder ist eine Treibölpumpe so angeordnet, daß für jedes Treibölventil eine gleich kurze Treibölleitung vorhanden ist. Diese kurze Leitung gewährleistet ein sehr genaues Einspritzen des Treiböles in den Zylinder.

Das Treiböl wird ohne Vorkammer unmittelbar in den Verbrennungsraum eingespritzt, wodurch ein niedriger Treibölverbrauch erreicht wird. Hierzu trägt noch die besondere zweckmäßige Gestaltung des Verbrennungsraumes bei.

In jedem Zylinderdeckel sind Ein- und Auslaßventile aus Stahl angeordnet, die durch Kipphebel, Stoßstangen und Rollenführungskörper von den auf der Steuerwelle sitzenden Nocken angetrieben werden. Die Verbrennungsluft entnimmt der Motor einem gemeinsamen Luftansaugrohr. Ein gekühltes Auspuffsammelrohr ist unmittelbar an die Zylinderköpfe angebaut. Den oberen Abschluß des Motors bilden Ventilschutzkappen. Die Schmierung ist eine selbsttätige Druckschmierung. Von einer Zahnradpumpe wird das Öl über ein Ölfilter und einen Ölkühler den Schmierstellen des Motors zugeführt. Das rückfließende Öl wird in der Kurbelwanne aufgefangen und läuft einem Behälter zu, aus dem es von der Zahnradpumpe angesaugt wird. Das Anlassen des Motors erfolgt durch Druckluft oder elektrisch.

4. Der Deutz-Dieselmotor

Die Motoren der Firma Humboldt-Deutz werden als Motoren in Zwei-, Vier- und Sechszylinderbauart gebaut und bei der Marine als Hilfsmotoren mit gleichbleibender Drehzahl zum Antrieb von Lichtmaschinen und als Bootsmotoren verwendet.

Die Kurbelwelle hängt in den Grundlagern, die von den Zugankern gehalten werden, und treibt durch Zahnradübertragung die Nockenwelle an.

Die Kurbelwanne bildet mit dem Zwischenstück das öldichte Kurbelgehäuse und nimmt das Motorenöl auf. Kurbelwanne, Zylinder und Zylinderköpfe werden durch die Zuganker verbunden.

Im Zylinderkopf ist die Vorkammer seitlich angeordnet, in die ein Treibölventil mit geschlossener Düse und seitlich eine Glühkerze hineinragt.

An einer Seite des Motors sind die Treibölpumpen zu einem Block vereinigt angebracht. Die Regelung der Pumpen erfolgt durch Verschieben der Schrägnocken, wobei der Pumpenhub verändert wird. Diese Schrägnocken können von dem an der anderen Seite des Motors angebrachten Regler durch Gestänge verschoben werden.

Die Einspritzzeitverstellung verdreht den Antrieb der Treibölnocken. Das Verdrehen in der Drehrichtung ergibt Früheinspritzung und in entgegengesetzter Richtung Späteinspritzung.

Ein an der Treibölpumpenseite angebrachtes Handrad beeinflußt durch Gestänge die Treibölpumpen und verschiebt gleichzeitig die Nockenwelle. Auf der Nockenwelle befinden sich Hilfsnocken, die beim Anwerfen des Motors die Auslaßventile im dritten Takt anheben. Dadurch wird der Verdichtungsdruck in den Zylindern herabgesetzt und der Motor kann vom elektrischen Anlasser oder von Hand leicht gedreht werden. Beim Drehen des Handrades auf Betrieb werden nacheinander von je zwei Zylindern die Hilfsnocken abgeschoben und gleichzeitig die zu den Zylindern gehörenden Treibölpumpen angestellt.

Das Handrad darf nur betätigt werden, wenn der Motor gedreht wird.

Ein eingebautes Schnellschlußgestänge hebt beim plötzlichen Hochschnellen der Maschinenumdrehungen die Winkelhebel der Treibölpumpen von den Treibölnocken ab. Dadurch werden die Treibölpumpen abgestellt.

Deutz baut neuerdings Treibölpumpen mit liegendem Pumpenstempel und Schrägkantenregelung.

SECHSTER TEIL

Die Betriebsüberwachung der Motoren

A. Wartung und Behandlung

a) Kriegsmarine-Motoren

Motoren der Kriegsmarine sind im allgemeinen besonders hochwertig und hochbeansprucht, so daß sie nur bei ungewöhnlich sorgfältiger Wartung und Pflege für eine angemessene Lebensdauer betriebsbereit bleiben und volle Leistung aufweisen. Sie gebrauchen mehr Pflege als ein für den Zivilgebrauch gebauter, handelsüblicher Motor. Die an Bord eines jeden Kriegsfahrzeuges vorhandenen Betriebsvorschriften müssen jedem Mann der Bedienungsmannschaft vertraut sein. Jeder Soldat, der neu zu einem Motor kommt, auch wenn er gute allgemeine Motorenkenntnisse besitzt, muß sich mit einem neuen Motor erst genau in der Praxis vertraut machen, ehe er die Bedienung übernehmen darf. Auf Sauberkeit der Motoren in und außer Betrieb ist größter Wert zu legen.

Für die Bedienung von Motoren der Kriegsmarine gelten neben den besonderen Betriebsvorschriften folgende allgemeine Bedienungsanweisungen.

b) Klarmachen des Motors nach längerer Betriebspause

1. Nach Instandsetzungen muß man mindestens eine Wache, nach längeren Betriebspausen mindestens eine Stunde vor „Seeklar" mit dem Motorenklarmachen beginnen.
2. Der Motorenraum ist gut durchzulüften, damit Öldämpfe, die sich in der Betriebspause gebildet haben, entfernt werden. (Natürliche Lüftung durch Oberlichter und Niedergänge bzw. künstliche Lüftung.)
3. Motor überprüfen auf maschinenbauliche Fehler:
   Ventile (Treiböl, Anlaß-, Einlaß- und Auslaßventile) gangbar.
   Rollenspiele mit Lehre nachmessen.
   Bolzen, Muttern, Sicherungen an Motor und Wellen auf festen Sitz prüfen.
   Regler und Verstärker und Treibölpumpen prüfen.
   Umsteuer- und Treibölhebelgestänge auf Lose, Sicherungen und Gangbarkeit prüfen.
   Fundamentschrauben abklopfen.
   Schellen, Ziehbänder, Halterungen, Spannbänder auf Sitz prüfen.
   Entlüftungen von Behältern und Kurbelwanne auf freien Durchgang prüfen.
4. Die ausrückbare Kupplung durch mehrfaches Hin- und Herbewegen auf Gangbarkeit prüfen und dann ausrücken.
5. Bilgen lenzen und säubern.
6. Alle Feuerlöschanlagen prüfen. Hierüber Vermerk in die Betriebsliste.
7. Bei S-Booten Batterie nachsehen. Wenn notwendig, aufladen. Nie mit einer nicht voll geladenen Batterie in See gehen.
8. Der Motor wird mit Hand oder mit einer Drehvorrichtung langsam — mindestens zweimal über OT. — durchgedreht. Dabei sind alle Triebwerksdeckel und alle Zisch- oder Indikatorventile geöffnet.
9. Das Motorentriebwerk ist auf freien Gang zu überprüfen. Nach der Beendigung des Durchdrehens sind alle Schraubverbindungen des Triebwerks auf festen Sitz durch Abklopfen zu prüfen.
10. Kühlwasseranlage klarmachen. Die See- und Zwischenventile sind zu öffnen. Die Kühlwasserleitung ist mit der Feuerlösch- oder wie z. B. bei U-Booten mit der elektrischen Ersatz-

kühlwasserpumpe unter Druck zu nehmen. Alle Kühlräume müssen aufgefüllt werden. Dieses wird durch Öffnen der Entlüftungshähne geprüft, die auf den höchsten Stellen sitzen, z. B. an den Abgaskrümmern.

Bei S-Booten sind die Frischwasserkühler nachzusehen. Fehlendes Frischwasser ist aufzufüllen.

Es ist nachzuprüfen, daß
a) kein Kühlwasser in die Kurbelwanne läuft,
b) kein Kühlwasser aus den Zischhähnen, das heißt den Zylindern, austritt und
c) kein Kühlwasser aus den Entwässerungen der Abgasleitung austritt.

11. Der Motor ist, wenn notwendig, mit der Bootsheizung oder einer anderen Vorrichtung durch Erwärmung einer Kühlwasserfüllung vorzuwärmen. Hierzu kann sein Kühlwasserkreislauf mit einer als Umwälzpumpe dienenden Pumpe zum Kreislauf geschaltet werden. Bei S-Booten ist dies immer bis zu einer Wassertemperatur von 45° C durchzuführen.
12. Motorenölanlage klarmachen. Der Sammelbehälter oder Sammeltank ist zu peilen. Er muß auf Wasser geprüft werden. Gegebenenfalls ist das Wasser abzulassen. Ferner muß der Schlamm entfernt werden. Dann ist der Behälter nach Betriebsvorschrift frisch aufzufüllen.

    Die vorhandenen Filter sind nachzusehen, gegebenenfalls zu reinigen. Die Leitung ist klarzumachen und wird mit der Handpumpe oder wie z. B. bei U-Booten 15 Minuten lang mit der elektrischen Ersatzmotorenölpumpe unter Druck gesetzt. Dadurch sollen alle Lager gut vorgeschmiert werden.

    Bei einzelnen Motoren, so z. B. bei S-Booten, kann auch der Ölkreislauf vorgewärmt werden. Hier muß eine Temperatur von 40° C erreicht werden.
13. Alle Öler sind zu füllen und vorzupumpen. Desgleichen sind die Ventilführungen und Stößelstangen zu schmieren, in einzelnen Fällen auch die Regler. Die Fettpressen am Motor, Wellen und Wellenstopfbuchsen sind nachzusehen und aufzufüllen.
14. Bei Motoren mit Glühkerzeneinrichtungen sind diese zu überprüfen.
15. Treibölanlage klarmachen. Die Tagesverbrauchsbehälter sind zu peilen, zu entwässern und aufzufüllen. Die Leitung ist anzustellen, und es ist Treiböl vorzupumpen. Dabei müssen die Sauge- und Druckleitungen entlüftet werden, bis das reine, blasenfreie Treiböl aus den Entlüftungen tritt. Nun sind die Pumpengestänge auf Gangbarkeit zu prüfen und die Treiböl- oder Füllungshebel je nach Betriebsvorschrift in 0- oder in Anlaßstellung zu legen.
16. Nun ist der Triebwerksraum noch einmal kurz zu überprüfen, und dann sind die Schaudeckel dichtzusetzen.
17. Anlaßluftanlage klarmachen. Der Luftdruck in der Anlaßflasche ist zu prüfen. Werden die in der Betriebsvorschrift gegebenen Drücke nicht mehr erreicht, so ist mit einem Verdichter aufzupumpen. Die Anlaßluftflaschen werden entwässert. Die Leitung ist unter Druck zu setzen und auf Undichtigkeiten nachzusehen. Es werden alle Ventile bis auf das Hauptanlaß- oder Hauptabsperrventil geöffnet.
18. Die Umsteuerung ist von Hand, evtl. auch mit Druckluft zu prüfen. Bei Betätigung von Hand müssen aufgesetzte Handhebel nach dem Umsteuern sofort wieder abgenommen werden.

    Nach der Erprobung muß der Motor wieder auf „Voraus" umgesteuert sein.
19. Hierauf ist der Motor noch einmal nach liegengebliebenen Werkzeugen zu untersuchen.
20. Die Kupplung muß auf „Aus" stehen.
21. Kommando: „Aus der Maschine!"
22. Der Motor wird mit Treiböleinstellung „0" und geöffneten Zisch- oder Indikatorhähnen ganz kurz mit Druckluft gedreht, so daß er etwa zwei ganze Umdrehungen macht.

    Dabei ist:
    a) der Motor auf Fremdgeräusche abzuhören,
    b) an den Zischhähnen die Luft auf Wasser-, Motoren- und Treiböltröpfchen zu untersuchen,
    c) die Ventilbetätigung zu beobachten,
    d) die Abgasentwässerung zu beobachten.

    Da die Beobachtungen für einen Soldaten allein zuviel sind, sind die einzelnen Beobachtungsstellen vorher zu verteilen.
23. Zeigen sich keine Ausstellungen, so sind die Zischhähne zu schließen.
24. Der Motor ist klar zum Anlassen.

c) Anstellen des Motors

1. Motoren mit Glühkerzeneinrichtungen: die Glühkerzen werden eingeschaltet und brauchen etwa 20 Sekunden, um auf Temperatur zu kommen. (Kontrolllampe am Schaubrett.)
2. Zum Anlassen wird der Anlaß- oder der Fahrhebel betätigt, der die Anlaßluft zu den Anlaßventilen der Zylinder freigibt. Es darf nicht zu lange Anlaßluft gegeben werden. Genaue Zeitangaben sind jeder einzelnen Betriebsvorschrift zu entnehmen.

    Wenn der Motor innerhalb der vorgeschriebenen Zeit zündet, ist der Anlaßhebel sofort wieder freizugeben.

    Glühkerzen sind auszuschalten.

3. Beim Anfahren sind sofort die Druckmesser für Motorenöl und Kühlwasser zu beobachten, ob sie steigenden Druck anzeigen. Mehr Treiböl darf nur sehr vorsichtig gegeben werden. Stehen die Drücke in der richtigen Höhe (beim Anstellen des Motors höher als normal), so kann langsam mehr Treiböl gegeben werden.
4. Der Gang des Motors ist nun abzuhorchen. Desgleichen sind die Zündungen durch Öffnen der Zischhähne zu prüfen.
   Ergeben sich irgendwelche Fehler, so ist der Motor sofort wieder durch Wegnahme des Treiböles zu stoppen.
5. Der Motor wird einmal langsam hochgefahren. Dabei ist die vorgeschriebene Zeit zu beachten. (Drehzahlregler beginnt zu arbeiten.)
6. Der Motor wird darauf in der Drehzahl wieder erniedrigt und muß nun mit kleinen Umdrehungen warmlaufen. Etwa 5 ... 10 Minuten, bis Motorenöl- und Kühlwasser-Ablauftemperatur (Seewasserkühlung) etwa 50° C erreichen.
7. Dabei ist der Gang des Motors laufend abzuhorchen. Alle Druck- und Temperaturmesser sind abzulesen. An allen Trichter- und Schaustrecken sind Proben zu nehmen.
8. Darauf ist der Motor zu stoppen, auf „Zurück" umzusteuern, wieder anzulassen, zu stoppen, auf „Voraus" umzusteuern, nochmals anzulassen und dann endgültig zu stoppen.
9. Der Motor ist nun einer eingehenden Triebwerkskontrolle zu unterziehen.
10. Hinweis: Sind in der Anlage ein Hilfsmotor und mehrere Hauptmotoren vorhanden, so ist zunächst der Hilfsmotor anzulassen. Die Hauptmotoren können dann erst bei laufendem Hilfsmotor angelassen werden.
11. Hinweis: U-Boote können ihren Diesel auch mittels ihrer E Maschine anfahren.
12. Ist bei der Triebwerkskontrolle kein Fehler festgestellt worden, so kann der Motor klar gemeldet werden.
13. Vom Klarmachen der Anlage bis zum Abstellen sind laufend Betriebslisten zu führen.

d) Klarmachen des Motors nach kurzer Betriebspause

Das Klarmachen nach kurzer Betriebspause ist ein Vorgang ähnlich wie in Abschnitt b) beschrieben. Das Klarmachen wird jedoch vereinfacht durchgeführt. Ein Teil der Kontrollen entfällt. Im allgemeinen wird der Motor auch noch betriebswarm sein.

1. Zeit zum verkürzten Anstellen etwa 1/4 Stunde.
2. Der Raum ist durchzulüften.
3. Die Kupplung ist auszurücken.
4. Bei S-Booten: Die Spannung der Batterie ist zu prüfen.
5. Bei R- und S-Booten: Die Glühkerzen sind zu prüfen.
6. Kühlwasseranlage prüfen. See- und Zwischenventile auf. Kühlwasserleitung mit Feuerlösch unter Druck nehmen bzw. mit Ersatzkühlwasserpumpe (U-Boote). Entlüftungshähne betätigen. Entwässerung Abgasleitung auf.
   Bei S-Booten: Frischwasserstand prüfen, evtl. nachfüllen.
7. Motorenölanlage prüfen: Sammelbehälter peilen, auf Wasser prüfen und auffüllen. Filter durchdrehen. Hand- oder Ersatz-Motorenölpumpe betätigen. Bei U-Booten etwa zehn Minuten.
8. Alle Handschmierstellen prüfen und betätigen. (Öler, Ventilführungen und Fettpressen usw.)
9. Anlaßluftanlage prüfen und Leitung unter Druck nehmen, Luftflaschen entwässern.
10. Treibölanlage prüfen. Tagesverbrauchsbehälter peilen, auf Wasser prüfen und auffüllen.
11. Umsteuerung auf „Voraus"-Stellung prüfen. Bei U-Booten aus der „Tauchstellung" in Vorausendlage fahren.
12. Anlaß- und Treibölhebel mit Gestängen auf Gangbarkeit prüfen.
13. Drehvorrichtungen ausrücken.
14. Werkzeuge und aufgesetzte Handhebel von der Maschine entfernen.
15. Kommando: „Aus der Maschine."
16. Motor mit Druckluft und ohne Treiböl bei geöffneten Zischhähnen etwa zwei volle Umdrehungen durchdrehen. Hierbei muß geringer Motorenöldruck vorhanden sein.
    Dabei:
    a) Motor abhören.
    b) An den Zischhähnen die Luft auf Wasser-, Motorenöl- und Treibstofftröpfchen untersuchen.
    c) Ventile beobachten.
    d) Abgasentwässerung beobachten.
17. Zeigen sich keine Ausstellungen, so sind die Zischhähne zu schließen.
18. Es ist Treiböl vorzupumpen. Auf Entlüftung der Leitungen ist besonders zu achten.
19. Bei U-Booten: Der größte Teil der Vorbereitungen kann schon während der Unterwasserfahrt durchgeführt werden, damit beim Auftauchen die Diesel sofort angeworfen werden und mit dem Abgas die Tauchzellen ausgeblasen werden können.
20. Bei U-Booten: Abgasklappen auf.
21. Motoren klar zum Anlassen. Weiter wie in Abschnitt c.

e) Behandlung des Motors im Betrieb

Anfangskontrollen

1. Unmittelbar nach dem Anfahren ist zu prüfen, ob die Motorenöl- und Kühlwasserpumpen einwandfrei arbeiten.

Am Kühlwasserdruckmesser und am Wassertrichter ist festzustellen, ob die Kühlwasserpumpe richtig arbeitet, am Motorenöldruck und an Ölschaugläsern, ob die Motorenölpumpe arbeitet.

2. Nach dem Anlassen des Motors sind außerdem sämtliche Druckmesser zu beobachten, ob sich die richtigen Drücke in der Ölleitung, den Kühlleitungen und den Zwischenstufen des Luftverdichters einstellen. Dieses soll schon nach wenigen Umdrehungen der Fall sein. Zeigt einer dieser Druckmesser keinen Druck an, so ist der Motor abzustellen und zu untersuchen. Erst nach Beseitigung des Schadens darf er wieder in Betrieb genommen werden. Die richtigen Drücke für die einzelnen Druckmesser findet man in der Betriebsvorschrift des Motors und sind auf den Anzeigegeräten farbig gekennzeichnet. Läuft der Motor und stellen sich alle Drücke richtig ein, so wird durch den Treibölhandhebel die befohlene Drehzahl eingeregelt. Die in der Betriebsvorschrift angegebenen Mindestzeiten bei der Leistungssteigerung dürfen nur im Gefahrenfalle unterschritten werden.

Motorbelastungen

3. Die Belastung eines Motors soll im allgemeinen erst allmählich gesteigert werden, selbst wenn das Kühlwasser des Motors vor der Inbetriebnahme vorgewärmt worden ist. Der Temperaturunterschied zwischen dem hochbelasteten Verbrennungsraum und den übrigen noch verhältnismäßig kalten Teilen des Motors führt sonst zu schädlichen Wärmespannungen in den betreffenden Maschinenteilen. Diese Rücksicht fällt zwar beim Manövrieren mit betriebswarmer Maschine fort, doch dürfen auch in diesem Falle Drehzahl- und Belastungssteigerungen — außer bei höchster Gefahr — nicht durch überhastetes, ruckartiges Betätigen des Füllungshebels eingeleitet werden, da dies für die sehr beschleunigungsfähigen Motoren schädlich ist.

4. Bei allen Änderungen der Drehzahl und beim Fahren in der Nähe der kritischen Drehzahlen muß der Motor sorgfältig beobachtet werden. Beim Auftreten von Schwingungen ist der Motor ohne Verzug auf eine erschütterungsfreie Drehzahl zu bringen.

5. Wenn der Motor durch irgendeinen Zufall (z. B. Versagen der Kupplung, Bruch der Schraubenwelle, Verlust der Schraube oder dergleichen) plötzlich entlastet wird, ist die Beschleunigungsfähigkeit der schnellaufenden Motoren so groß, daß dann bei zufällig gleichzeitigem Versagen des Schnellschlußreglers der Motor in wenigen Sekunden seine Höchstdrehzahl überschreitet und zerstört wird, wenn nicht augenblicklich die Treibölzufuhr unterbunden wird.

6. Im Leerlauf läuft der Motor unter ungünstigen Betriebsverhältnissen, da die dämpfende Wirkung des Belastungsdrehmoments fehlt. Dazu kommt, daß die Zylinder an Mehrzylindermotoren bei den kleinen Füllungen oft unregelmäßig zünden. Der Leerlauf ist daher auf eine Mindestdauer zu beschränken, besonders auch zur Vermeidung von Explosionen und Bränden in den Abgasanlagen. Beim Erhöhen der Drehzahlen sind die kritischen Drehzahlbereiche, die auf dem Umdrehungsanzeiger durch Sperrgebiet besonders gekennzeichnet sind, schnell zu durchfahren, besonders dann, wenn der Motor keine Schwingungsdämpfer besitzt.

7. Rückwärtsfahrt soll mit Rücksicht auf die Schonung der Schiffsverbände im allgemeinen nur mit einem Drittel der Vorwärtsleistung der Motoren ausgeführt werden. Die volle Rückwärtsleistung soll nur höchstens zwei Minuten gefahren werden, falls nicht ausnahmsweise dringende Gründe für eine längere Dauer vorliegen.

8. Bei Vollastfahrt ist die Belastung des Motors in den im Maschinenbuch und in den Betriebsvorschriften festgelegten Höchstgrenzen zu halten. Jede unzulässige Überlastung des Motors ist verboten.

Kontrollen des Triebwerks usw.

9. Während des Betriebes ist ständig auf alle auftretenden abnormalen Geräusche zu achten, ihre Ursachen sind festzustellen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

10. Die Abgasstutzen der Zylinder, die Treiböl-, Motorenöl- und Kühlwasserleitungen sind auf Dichtsein zu beobachten.

11. Die Überwachung der Lage des Triebwerkes erfolgt durch Abfühlen der Gestellwandungen und durch Beobachten des Motorenöldruckes und der Motorenöltemperatur.

Die Zylinder, Motorenöl- und Kühlwasserleitungen sowie alle zugänglichen Gehäuseteile, in denen sich Laufstellen befinden, sind ständig durch Abfühlen mit der Hand zu prüfen.

12. Befindet sich ein Motor in Dauerbetrieb, so ist er mindestens alle 24 Stunden nach Vorschrift abzustellen, damit an ihm eine Kolben- und Triebwerkskontrolle durchgeführt werden kann. Alle Lager und Bolzen sind nachzuprüfen, die Filter zu reinigen. Erst dann darf der Motor wieder in Betrieb genommen werden.

Kühlwassertemperaturen

13. Die Temperaturen der Motorenteile und Kühlleitungen sind durch Abfühlen bzw. Thermometerablesungen zu überwachen. Das Zylinderkühlwasser soll mit ungefähr 40 bis 60° C bei Seewasserkühlung, bei Frischwasserkühlung mit ≈ 80° C abfließen. Gleiche Temperaturen in allen Kühlwasserabflußleitungen sind anzustreben und lassen sich durch Verstellen der Drosselhähne einregeln.

14. Die Temperaturspanne zwischen Eintritt und Austritt soll nicht mehr als 20 bis 25° C betragen. Das bedeutet, daß bei zu kaltem Wassereintritt ein Teil des ablaufenden, erwärmten Kühlwassers in einer Ringschaltung zum Eintritt zurückgeleitet wird und sich hier mit dem neuen, kalten Wasser zu einer richtigen Mischtemperatur vereinigt.

15. Ist die Kühlwassertemperatur zu hoch gestiegen, so muß sofort die Drehzahl vermindert werden, durch Ausrücken der Kupplung der Motor entlastet und langsam mehr Kühlwasser zugeführt werden. Ist überhaupt ohne Kühlwasser gefahren worden, so ist der Motor abzustellen und erst nach der Abkühlung langsam Kühlwasser zuzuführen. Erst dann darf wieder angefahren werden. Durch die plötzliche Zufuhr von Kühlwasser und die sich daraus ergebende starke Abkühlung können Risse im Zylinder oder Zylinderdeckel entstehen oder auch Kolben festfressen.

Motorenöltemperaturen

16. Auch der Temperatur des Motorenöles muß besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Motorenöl kann eine Ablauftemperatur bis zu 70° C vertragen, in Sonderfällen bis zu 85° C. Hier soll die Spanne zwischen Ölzulauf- und -ablauftemperatur 30° C, höchstens 35° C, nicht überschreiten. Im allgemeinen wird im Betrieb das Motorenöl immer zu kalt gefahren, ohne daß man beachtet, daß die Marinemotorenöle etwa zwischen 60 ... 70° C ihre beste Schmierfähigkeit haben.

17. Ehe das Motorenöl nicht mindestens eine Temperatur von 30° C erreicht hat, darf eine bestimmte niedrige Höchstdrehzahl mit einem Motor nicht überschritten werden.

18. Für S-Boote gilt besonders:

Die höchstzulässige Motorenöltemperatur vor dem Motorenölkühler beträgt 85° C. Die Frischwassertemperatur ist auf etwa 70° C einzustellen. Die Regelung der Temperaturen für Motorenöl und Frischwasser erfolgt durch den Seewasseraustrittshahn des Frischwasserkühlers. Wenn der Austrittshahn ganz geschlossen ist, wird (bei niedrigen Drehzahlen) durch den Eintrittshahn weiter geregelt.

19. Für die Temperaturüberwachung merke man folgendes: Stehende Temperaturen an den oberen, angegebenen Grenzen sind im allgemeinen unschädlich. Dagegen ist eine langsam ansteigende Temperatur, auch wenn sie noch innerhalb der angegebenen Grenzen liegt, nicht immer unbedenklich.

20. Bei kalter Witterung dürfen beim Anlassen die Motorenöldrücke höher ansteigen als gewöhnlich, bis der Motor warm wird. Zum Schutze der Druckmesser sind die vorhandenen Regelventile dabei etwas anzulüften. Bei später fallendem Druck ist nachzuregeln.

21. Bei einer Anzahl Motoren (z. B. bei R-Booten) ist für AK-Fahrt eine Motorenöl-Zusatzleitung vorhanden, die besonders angestellt werden muß.

22. Der Öldruck am Motorenölfilter wird vor und hinter dem Filter abgelesen. Der Druckunterschied soll nicht mehr als 0,3 ... 0,4 atü betragen. Größere Unterschiede zeigen zu hohen Widerstand und damit Verstopfung des Filters an. Alle vier Stunden ist das Motorenöl auf Wassergehalt zu untersuchen.

23. Nach etwa 20 Betriebsstunden werden die Filtereinsätze der Motorenölfilter herausgenommen und gereinigt, wenn es sich nicht um selbstreinigende Scheibenfilter handelt.

24. Der Motorenölstand im Motorenölsammeltank ist in regelmäßigen Abständen zu prüfen. Eine rasche Abnahme deutet auf Undichtigkeiten in der Motorenölleitung oder dem Motorenölsammeltank, ein Steigen des Ölstandes auf solche in der Kühlanlage hin.

25. Das Frischwasser in den Betriebsbehältern der Frischwasserkühlung der S-Boote ist ständig zu beobachten und rechtzeitig zu ergänzen.

Abgas und Verbrennung

26. Die Abgastemperaturen sind mit der Pyrometeranlage zu messen. Der Motor darf nie mit mehr als 480 ... 500° C gefahren werden.

Besondere Aufmerksamkeit ist der sorgfältigen Kühlung der gesamten Abgaseinrichtung zuzuwenden.

27. Durch probeweises Öffnen der Zylinderventile oder Abgasprobehähne oder, wenn bei 2-Taktmotoren Glasfenster an der Spülluftleitung gegenüber den Spülluftschlitzen vorhanden sind, ist durch unmittelbares Beobachten festzustellen, ob alle Zylinder zünden. Dabei sind folgende Merkmale für den Verbrennungsvorgang gegeben:

1. Hellrot ... bläulich ... gut
2. Dunkelrot ... schlecht
3. Funkenbildung ... zuviel Motorenöl

Außerdem für die Färbung der Abgase am Schornsteinrand oder Abgasrohraustritten:

1. Fast unsichtbar, grau ... gut
2. Dunkelgrau, schwarz ... schlecht

Niedrige Abgastemperaturen bei hoher Belastung lassen schlechte Verbrennung erwarten.

28. Die regelmäßige Prüfung der Abgastemperatur und des abfließenden Kolbenkühlöles ist ein gutes Mittel, um im Betriebe die Arbeitsweise jedes einzelnen Zylinders zu prüfen. Ist die Abgastemperatur eines Zylinders höher als die eines anderen und fließt auch das Kolbenkühlöl wärmer ab, so ist der betreffende Zylinder überlastet; sind die Temperaturen geringer als die übrigen, so ist die Zylinderleistung zu gering oder die Zündungen des Zylinders setzen aus. Das richtige Arbeiten der Treibölventile kann durch Abfühlen der Treibölleitungen mit überprüft werden.

29. Der Einspritzzeitpunkt ist je nach Drehzahl des Motors so zu regeln, daß die Zündung etwa im oberen Totpunkt erfolgt. Bei niedriger Drehzahl ist also ein späterer Einspritzzeitpunkt einzustellen und bei hoher Drehzahl ein früherer Einspritzzeitpunkt, damit trotz der verschiedenen Winkelgeschwindigkeit die Zündung im oberen Totpunkt erfolgt. Bei zu frühem Einspritzzeitpunkt läuft der Motor hart, geräuschvoll und stoßend und neigt zum Überhitzen. Bei zu spät liegendem Einspritzzeitpunkt tritt hoher Treibölverbrauch ein, und die Abgastemperaturen liegen hoch. Die Einspritzzeitpunktverstellung darf daher nicht weiter ausgelegt werden als diese der jeweiligen Drehzahl entspricht.

30. Für R- und S-Boote mit mehreren Treibölverbrauchsbehältern:

Die angestellten Treibölbehälter müssen öfter gepeilt und zur rechten Zeit andere Behälter angestellt werden, damit kein Treibölmangel eintritt.

Bei U-Booten ist alle vier Stunden zu entwässern.

31. Für Treibölventile mit Fühlnadeln:

Das Arbeiten aller Einspritzdüsen ist mittels der Fühlnadeln öfters zu prüfen. Das Spiel der Fühlnadel beträgt etwa 1,5 mm.

31a. Bei Zweitaktmotoren muß während des Betriebes der Spülluftdruck beobachtet werden. Die Abgastemperaturen liegen hier etwas höher als bei Viertaktmotoren.

Hand- und Tropföler

32. Im Betrieb sind alle Tropföler, Staufferbuchsen usw. regelmäßig aufzufüllen.

33. Sämtliche Fettpressen und Schmiervorrichtungen für Wellenstopfbüchsen und Lagerungen müssen nachgedreht und nachgefüllt werden. Alle Stopfbüchsen und Lagerungen der Wellen sind mit der Hand abzufühlen. Die Drucklager erfordern eine erhöhte Aufmerksamkeit. Die Wellenstopfbüchsen sind auf Dichtsein zu beobachten.

34. Die beweglichen Ventile und Gelenke sind alle vier Stunden von Hand zu schmieren.

Die Anlaßventile sind nicht zu schmieren, da sich in den Anlaßleitungen sonst explosible Gase bilden, die beim neuen Anlassen zur Zündung kommen können.

Anlaßluft

35. Der Druck in den Anlaßluftflaschen ist zu überprüfen. Die Luftflaschen sollen immer voll aufgeladen sein.

36. Die Anlaßluftleitungen sind auf Erwärmung zu prüfen. Stellt sich dabei heraus, daß eine Anlaßluftleitung heiß geworden ist, so ist dies ein Zeichen dafür, daß das betreffende Anlaßventil nicht dicht hält. Der Motor ist, sofern sich ein leichtes Hängenbleiben des Ventils nicht sofort beseitigen läßt, unverzüglich abzustellen und das Ventil auszuwechseln.

37. Die Druckluftflaschen und die Zwischenkühler der Luftverdichter sind nach Bedarf zu entwässern.

38. Sondervorschrift für die selbsttätigen Luftverdichter der R-Boote:

Sofort nach dem Anlassen beginnt der Luftverdichter zu arbeiten und die verbrauchte Luft zu ersetzen. Nach Erreichung des Enddruckes stellt er selbsttätig ab.

Während des Betriebes sind die Druckmesser des Zwischendruckes nach der Stufe 1 und des Enddruckes zu beobachten. Der Zwischendruck steigt während des Aufladens der Flasche von etwa 4 auf 5 ... 5,5 atü. Größere Abweichungen deuten auf Ventilstörungen. Die Knebelschraube am Abscheider der Stufe 1 muß während des Ladens alle 10 Minuten und das Ablaßventil nach dem Laden kurz geöffnet werden. Dabei ist das Ende der Entwässerungsleitung zu beobachten, ob auch Wasser austritt. Während des Ladens wird der selbsttätige Luftregler durch Anheben der aus dem Reglergehäuse oben herausragenden Spindel geprüft. Außerdem muß die Temperatur der Saugventildeckel geprüft werden; sie dürfen nicht mehr als gut handwarm werden. Höhere Temperaturen lassen auf Ventilstörungen schließen. (Die Druckventildeckel haben wesentlich höhere Temperaturen.) Wenn der selbsttätige Druckregler ausfallen würde, so ist der Verdichter von Hand zu regeln.

Sonstiges

39. Wo die Möglichkeit zum Indizieren des Motors vorgesehen ist, sind in regelmäßigen Zeitabständen Indikatorschaubilder von allen Zylindern zu nehmen, um daran festzustellen, ob alle Zylinder gleichmäßig belastet sind und die Treibölpumpen richtig arbeiten.

40. Bei zu hoher Abgas- und Kolbenkühlöltemperatur, ferner bei zu hoher Kühlwasser- und Motorenöltemperatur und bei zu geringem Motorenöl- und Kühlwasserdruck tritt eine selbsttätige Warnanlage in Tätigkeit. Durch Aufleuchten einer Glühlampe und durch eine Schnarre wird das Personal auf die Gefahr aufmerksam gemacht.

41. Von Zeit zu Zeit sind die Fundamentschrauben zu prüfen und alle Verschraubungen und Halterungen am Motor ständig zu beobachten.

42. Alle Drücke und Temperaturen sind in regelmäßigen Zeitabschnitten der Anweisung entsprechend in die Betriebslisten einzutragen.

Für S- und R-Boote gilt:

43. Der Motor kann in jedem Betriebszustand abgestellt werden. Falls die übrigen Motoren weiterlaufen, muß die Kupplung betätigt werden, damit die Schraube leer mitläuft. Dabei ist zu beobachten, daß stets die Leerlaufschmierung des Untersetzungsgetriebes angestellt wird.

44. Soll ein stillstehender Motor zu den laufenden Motoren in Betrieb genommen werden, so muß ihre Drehzahl auf eine mittlere Drehzahl vermindert und der Motor in Fahrtrichtung umgesteuert werden. Bei dieser niedrigen Drehzahl kann nun die Kupplung zur Schonung der Lamellen betätigt werden. Der Motor wird durch die Schraube gedreht.

45. Beim Umsteuern mit eingekuppelter Schraube den Motor erst vollkommen auslaufen lassen. Es ist verboten, Anlaßluft für Gegendrehrichtung zu geben, solange die Kurbelwelle auch mitgedreht wird. Es darf grundsätzlich nur bei stillstehender Kurbelwelle umgesteuert werden.

f) Abstellen des Motors

1. Das Abstellen der Motoren darf nie unter Vollast geschehen. Der Motor muß sich langsam abkühlen, um ein Verziehen der Ventile usw. zu vermeiden.

Deshalb Motor entlasten, Drehzahl verringern.

2. Bei Motoren mit angehängtem Luftverdichter ist vor dem Abstellen darauf zu achten, daß die Anlaßluftflaschen auf den vorgeschriebenen Druck aufgeladen sind. Dasselbe gilt für Motoren, deren Anlaßluftflaschen vom Motor aus aufgeladen werden.

Deshalb: Anlaßluftflasche auf Nenndruck auffüllen, Flasche schließen und Leitung entlüften.

3. Kupplung ausrücken.

4. Treibölpumpen abstellen. Betriebshebel auf „Stopp".

5. Bei U-Booten: Abgasklappen zu, Entwässerungen auf.

6. Zischhähne (Indikatorhähne) und Entwässerungen auf zur Lüftung der Zylinder und der Abgasleitung.

7. Treibölzulaufleitung vom Verbrauchsbehälter nicht absperren, damit keine Luft in die Leitung kommen kann.

8. Nach dem Abstellen ist die Kolbenkühlung bei Motoren mit ölgekühlten Kolben noch so lange aufrechtzuerhalten, bis die Wärme aus den heißen Motorteilen so weit abgeführt ist, daß ein Verkrusten des Kühlöls nicht mehr zu befürchten ist (Abflußtemperaturen beobachten).

9. Alle Treiböl-, Motorenöl- und Kühlwasserleitungen abstellen. Saugesee- und Saugebodenabsperrungen auf „Geschlossen" stellen.

10. Lager, insbesondere Kolbenbolzen- und Kurbelzapfenlager auf Temperatur abfühlen.

Es ist eine vollständige Triebwerkskontrolle durchzuführen.

Das Innere des Motors ist auf Leckstellen und Lose zu untersuchen.

11. Ein- und Auslaßventilspindel schmieren.

12. Treiböl- und Motorenölbehälter peilen. Verbrauch während des Betriebes in die Betriebslisten eintragen.

g) Behandlung des Motors nach dem Betriebe

1. Nach dem Abstellen Motoren äußerlich reinigen, insbesondere ist Seewasser von allen Leichtmetallteilen sofort zu entfernen. Keine Wischbaumwolle verwenden.

2. Während des Betriebes aufgetretene Störungen und Undichtigkeiten sofort beseitigen.

3. Verschmutzte Filter reinigen.

4. Motoren reinigen und ölen.

5. Luftvorrat in den Anlaßluftflaschen ergänzen, falls ein elektrisch angetriebener Verdichter vorhanden ist. Sonst siehe f) 2.

6. Fahrstand reinigen.

7. Für S-Boote mit Batterie: Bootsbatterie aufladen.

8. Für R- und S-Boote: Nach 120 bis 150 Betriebsstunden sämtliches Motorenöl ablassen. Ölbehälter reinigen.

9. Vor einer längeren Betriebsunterbrechung sind die Motoren sorgfältig zu reinigen und alle blanken Gleitflächen, soweit sie nicht rostfrei sind (Zylinderbüchsen, Kolben, Gleitbahnen, Triebwerk, Steuerung, Drehschieber usw.) nach gründlicher Reinigung mit dickflüssigem Motorenöl einzufetten.

10. Dabei gilt für S-Boote: Es ist durch die Bohrungen der Zischventile ein Gemisch von einem Teil Petroleum und zwei Teilen Motorenöl in sämtliche Zylinder einzuspritzen, dabei steht der Kolben im unteren Totpunkt.

11. Wenn der Motor längere Zeit außer Betrieb gesetzt werden soll oder Frostgefahr besteht, sind alle Kühlmittel führenden Räume und Leitungen vollständig zu entleeren. Kühlwasser aus den Zylindern, der Abgasleitung, dem Ladeluftkühler, den Kühlwasserpumpen und Rohrleitungen ablassen und Ablaßhähne offen lassen.

12. Für R- und S-Boote gilt: Die Lenz- und Kühlwasserausgüsse und die Abgasmündungen der Hilfsmotoren sind bei Frostgefahr gegen Eindringen von Seewasser bei Wellengang und Einfrieren zu verschließen.

13. Für U-Boote: Bei Unterwasserfahrt ist durch Beobachtung der Entwässerungen der Abgasleitungen festzustellen, ob die Abgasklappen dicht halten.

14. Während der Ruhezeit sind die Motoren wöchentlich ein- bis zweimal bei angestellter Motorenölpumpe durchzudrehen. Dabei ist die Umsteuerung von Hand mit der Knarre zu bewegen. Die Knarre muß sofort nach Gebrauch abgenommen werden. Die ausgekuppelten Boschöler sind durchzudrehen, damit die Laufflächen der Zylinder geschmiert werden und Wasserspuren im Motorenöl nicht zu Korrosionserscheinungen in den Boschölern führen.

Es ist Pflicht des verantwortlichen Personals, sich mit der Beschreibung und allen bestehenden Vorschriften eingehend vertraut zu machen, um einmal die gesamte Motorenanlage gründlich kennenzulernen und sachgemäß bedienen zu können, wodurch von vornherein viele Störungen vermieden werden.

Für die am häufigsten vorkommenden Störungen beim Anfahren und im Betriebe und für ihre Beseitigung enthalten die Betriebsvorschriften zahlreiche Beispiele. Nur durch klares Nachdenken und nicht durch planloses Probieren kann die Ursache einer Störung schnell und sicher gefunden werden.

B. Terminmäßige Arbeiten an Boots-Dieselmotoren

Es ist für die Betriebssicherheit der Motoren von größter Wichtigkeit, alle Teile des Motors in gewissen Zeitabschnitten zu überholen. Die Erfahrung hat gelehrt, daß die Innehaltung der terminmäßigen Instandsetzungsarbeiten die Motoren vor mancher Betriebsstörung bewahrt hat. Weiter hat sich gezeigt, daß sehr viele Störungen an den Motoren auf unsachgemäße Wartung zurückzuführen sind.

Die Untersuchungen und Instandhaltungsarbeiten lassen sich am besten in tägliche, wöchentliche, monatliche, vierteljährliche und jährliche einteilen.

Die täglichen Instandhaltungsarbeiten und Untersuchungen an den in Betrieb befindlichen Motoren erstrecken sich auf die Reinigung der ganzen Motorenanlage, Prüfung der Ein- und Auslaßventile auf Gangbarkeit, Feststellung und Ergänzung der Treib- und Motorenölbestände. Die Motoren sind zu drehen und zu ölen.

Die Stromspeicher sind zu prüfen und, wenn notwendig, mit destilliertem Wasser oder Kalilauge (Nickelstahlspeicher) aufzufüllen. Der Stromspeicher muß oben stets vollkommen trocken sein. Sämtliche Kabelanschlüsse sind auf festen Sitz zu prüfen.

Wöchentlich sind die Siebe der Treib- und Motorenölfilter zu reinigen. Zur Reinigung dürfen Treiböl und Petroleum verwendet werden. Nach der Reinigung sind die Einsätze gut mit Lappen oder Druckluft zu trocknen. Die Stopfbuchse am Stevenrohr ist auf Dichtigkeit zu prüfen. Die Saugestutzen der Lenzeinrichtung sind zu reinigen.

Monatlich sind die Kühlwasser- und Motorenölpumpen aufzunehmen und zu reinigen. Die Ventillose ist zu prüfen bzw. nachzustellen. Der Siebtopf in der Saugeleitung der Kühlwasserpumpe ist zu säubern.

Alle Hähne in den wasserführenden Leitungen sind auf Gangbarkeit zu prüfen.

Vierteljährlich sind die Zylinder abzuheben, Kolben, Kolbenringe, Bolzen, Zylinderböden und Kühlmäntel sind zu reinigen. Die Ventile sind nachzusehen und bei Undichtigkeiten nachzuschleifen. Die Treibölpumpen und Ventile sind zu reinigen und alle Motorteile, soweit sie zugänglich sind, werden überholt.

Das Motorenöl in den Kurbelgehäusen ist regelmäßig nach den Vorschriften der Marine zu untersuchen.

Können die Ölproben nicht an Bord untersucht werden, so sind sie an die Chemisch-Physikalische Versuchsanstalt der Marine (C.P.V.A.) oder an die Marinewerft Wilhelmshaven einzusenden.

Genügt das Öl nicht mehr den Anforderungen, so ist es auszuwechseln. Das alte Öl ist zur Reinigung abzugeben.

Einmal im Jahre ist der Motor einer Grundüberholung zu unterziehen. Dabei ist die Lagerung der Schraubenwelle und die Schraube zu untersuchen.

Alle Arbeiten an Motoren erfordern eine unbedingte Zuverlässigkeit, die größte Genauigkeit und eine peinlich saubere Ausführung. Das kleinste Versehen oder die geringste Nachlässigkeit können Ursachen für die folgenschwersten Maschinenstörungen wer-

den. Dabei ist nicht allein an die großen Kosten der Wiederherstellung der Motoren zu denken, sondern auch an die Gefahren, die dem Bedienungspersonal drohen, wenn größere Beschädigungen eintreten.

Die *Kurbelwelle* wird bei neu ausgegossenen und ausgebohrten Kurbelwellenlagern sauber in diese eingepaßt. Die Kurbelwellenlager werden dann in der üblichen Weise so lange nachgeschabt, bis alle Lagerstellen gleichmäßig tragen. Um keine Metallspäne in die Hohlräume der Welle gelangen zu lassen, sind die Ölbohrungen zu verschließen. Gewöhnlich ist das Endlager vor dem Schwungrad als Paßlager ausgebildet, die anderen Lager erhalten so viel seitliches Spiel, daß die Welle sich bei Erwärmung ungehindert ausdehnen kann. Die Kurbelwellenlager müssen vollkommen fest zusammengezogen werden. Das Lagerspiel wird in den Betriebsvorschriften angegeben. Die Kurbelwellenlager erhalten gewöhnlich 0,1 . . . 0,2 mm Spiel. Die Feststellung des Lagerspieles erfolgt durch Abdrücken mit Bleidraht. Vor dem endgültigen Einsetzen der Welle werden die Ölbohrungen auf den ordnungsmäßigen Zustand untersucht und Lager und Welle gründlich gereinigt und eingeölt. Nach dem Einbau sind die vorgesehenen Muttersicherungen anzubringen.

Die *Kurbellager* werden in der gleichen Weise aufgepaßt wie die Kurbelwellenlager. Das Spiel dieser Lager ist gewöhnlich auch 0,1 . . . 0,2 mm. Hier ist das seitliche Spiel ebenfalls einzuhalten. Beim Aufpassen der Kurbellager ist genau darauf zu achten, daß die Treibstange senkrecht zur Zapfenachse steht. Vor dem endgültigen Zusammensetzen ist auf offene und reine Ölbohrungen und richtige Ölnuten zu achten. Manche Motoren haben Beilagen zwischen den Kurbellagerdeckeln, um später das richtige Lagerspiel durch Herausnehmen dieser Beilagen schnell wieder einstellen zu können. Durch Herausnehmen von Beilagen wird jedoch der Verdichtungsraum verändert.

Die Kolbenbolzenlager werden mit einem Spiel von etwa 0,1 mm eingepaßt.

Bei dem Zusammenbau des Triebwerkes ist ganz besonders auf richtiges Anbringen der vorgesehenen Bolzen- und Muttersicherungen zu achten.

Die Kühlräume der Zylinder werden beim Vorhandensein von Kesselstein- oder Sandablagerungen gereinigt. Kesselsteinablagerungen werden durch verdünnte Salzsäure (1 Teil rohe Salzsäure auf 3 Teile Wasser) gelöst. Die Lösung ist beendet, wenn keine Gasentwicklung mehr eintritt. Die sich entwickelnden Gase sind brennbar, darum dürfen solche Arbeiten nicht bei *offenem Licht* ausgeführt werden. Nach dem Aussäuern sind die Kühlräume gründlich mit Wasser auszuspülen.

Die *Kolben* müssen bei jeder größeren Instandsetzung untersucht und ihre Kühlräume geöffnet und gereinigt, sowie die Kolbenböden von dem Ölkoks befreit werden.

Die *Kolbenringe* werden abgenommen, untersucht und ausgewechselt, falls sie nicht mehr voll tragen oder ihre Spannung ungenügend geworden sind. Die Ringnuten müssen sorgfältig gereinigt werden. Um die Ringe beim Abnehmen nicht zu zerstören oder unrund zu ziehen, weitet man sie durch schmale Blechstreifen von etwa 1 . . . 1,5 mm Stärke und einer solchen Länge, daß die Ringnuten bedeckt sind, auf. Die Blechstreifen führt man im Ringschloß ein und schiebt sie zwischen Ring- und Kolbenkörper herum. Je nach dem Durchmesser des Kolbens verteilt man 4 . . . 5 solcher Streifen über den Umfang und kann den Ring mühelos abziehen. In derselben Weise setzt man auch die unteren Ringe wieder ein. Am besten ist die Verwendung einer Kolbenringzange. Vor dem Einsetzen neuer Ringe in den Kolben sind die Ringe in die Zylinderbuchse einzuführen, um das Spiel im Ringschloß festzustellen. Die Größe des Spieles zwischen den Stößen richtet sich nach dem Zylinderdurchmesser und wird in der Betriebsvorschrift der betreffenden Maschine angegeben. Beim Einbau der Ölabstreifringe ist auf ihre richtige Lage zu achten. Die scharfe Kante oder der stärkere zylindrische Teil muß unten liegen, weil sonst der Ring Öl in den Zylinder fördert und nicht in die Kurbelwanne. Zur Feststellung des Kolbenspieles müssen auch die Kolben und Zylinder (Abb. 138) aufgemessen werden; dies ist immer nötig, wenn ein neuer Kolben eingebaut werden soll.

Beim Einsetzen der Kolbenbolzen in die Tauchkolben ist jedes Verspannen der Kolben zu vermeiden. Die Keile, die die Bolzen halten, sind nur leicht einzutreiben und die Halteschrauben leicht anzuziehen, aber gründlich zu sichern. Bei einigen Ausführungen sind zum Einsetzen der Kolbenbolzen die Kolben in heißem Öl anzuwärmen.

Nach dem Verkeilen der Kolbenbolzen sind die Tauchkolben auf gutes Rundsein zu untersuchen. Einige Firmen schleifen die Kolben in der Kolbenbolzenebene oval, damit bei den Wärmedehnungen der Bolzen die Kolben nicht auf zu große Durchmesser aufgespreizt werden und in den Laufbuchsen fressen.

Die *Zylinderdeckel* werden gereinigt, auf Rostbildung untersucht und durch Aussäuern vom Kesselstein in den Kühlräumen befreit. Die Kupferdichtungsringe werden weich geglüht. Beim Aufsetzen der Deckel soll man sich zum Anziehen der Schrauben der richtigen, von den Firmen gelieferten Schlüssel bedienen. Ihr Hebelarm ist so lang, daß die Deckelschrauben bei normalem Anziehen die richtige Vorspannung erhalten.

Nach dem Einsetzen der Kolben und dem Aufsetzen der Zylinderdeckel ist die Höhe des Verdichtungsraumes zu messen. Dies geschieht am besten durch einen Bleiabdruck. Ein Stück Blei von

entsprechender Stärke wird auf den oberen Kolbenrand gelegt und der Motor über den betreffenden Totpunkt gedreht. Die Stärke des gedrückten Bleies stellt man mit einer Mikrometerschraube fest. Weicht sie mehr als 0,5 mm von der richtigen, in den Betriebsvorschriften angegebenen Höhe des Verdichtungsraumes ab, so müssen genau plangedrehte oder geschliffene Beilagen von entsprechender Stärke zwischen Kurbellager und Treibstangenfuß eingelegt oder herausgenommen werden. Dadurch verlängert oder verkürzt man die Treibstange auf ihr ursprüngliches Maß und stellt die richtige Verdichtungsraumhöhe wieder her.

Die Luftverdichterzylinder und Kolben werden ebenso behandelt, wie bei den Arbeitszylindern vorher beschrieben. Hierbei ist zu beachten, daß beim Einsetzen neuer Kolbenringe die richtigen Ringschloßspiele vorhanden sind. Diese sind für die einzelnen Stufen verschieden groß und der Betriebsvorschrift für die betreffende Maschine zu entnehmen.

Das Kurbellagerspiel der Hochdruckverdichterkolben muß sehr gering gehalten werden (etwa 0,05 mm), um bei den geringen Abständen zwischen Hochdruckkolben und Zylinderdeckel Beschädigungen im Betriebe zu vermeiden.

Nach dem Einsetzen der Kolben und dem Aufsetzen der Zylinderdeckel sind die schädlichen Räume der Verdichterzylinder durch Bleiabdrücke zu messen. Sie dürfen die zulässigen Größen nicht überschreiten, weil sonst die Leistungen in dem Verdichter herabgesetzt werden.

Die Ventile der Arbeitszylinder werden gereinigt und eingeschliffen und ihre Federn auf Brauchbarkeit untersucht. Federn, die nicht mehr die richtige Länge besitzen, sind auszuwechseln. Beim Einsetzen der Ventilgehäuse ist auf gute Dichtung zu achten. Die Befestigungsschrauben der Auspuffventilgehäuse sind nur mäßig anzuziehen, weil diese Gehäuse sich sonst infolge der erheblichen Erwärmung im Betriebe verspannen und undicht werden können. Die Ventile und Ventilfedern der Luftverdichter werden gereinigt und untersucht. Eingeschlagene Ventile und zusammengedrückte Federn werden gegen Ersatzfedern ausgewechselt.

Die Treibölpumpen werden sauber gereinigt, wobei der Gebrauch von Wischbaumwolle streng zu vermeiden ist. Undichte Ventile, aber nur diese, werden mit feinster Schleifmasse oder Putzpomade eingeschliffen. Jedes unnötige Schleifen ist zu vermeiden. Undichte Kolben werden mit den Laufbuchsen gegen Ersatzkolben und die zugehörigen Laufbuchsen ausgewechselt.

C. Die Überwachung des Verbrennungsvorganges im Motor

Das Nehmen von Verbrennungsschaubildern

Zur Bestimmung der Leistungen bei den verschiedenen Belastungen und zur ständigen Kontrolle des Arbeitsvorganges und der Belastungsverteilung auf die einzelnen Arbeitszylinder muß der Motor in regelmäßigen Zeitabschnitten indiziert werden. Alle modernen Dieselmotoren erhalten darum Indikatorstutzen mit Hähnen oder Ventilen für den Anschluß eines Indikators und Einrichtungen zum Antrieb der Indikatortrommeln. Eine schematische Darstellung zeigt Abb. 139. Die Indikatoren, die zum Messen von Dieselmotoren verwendet werden sollen, dürfen nur Außenfedern besitzen, weil innen liegende Federn wegen der hohen Temperaturen bald unbrauchbar werden. Die Indikatoren sollen möglichst klein sein, um die Schwingungen, die durch die bewegten Schreibzeugmassen auftreten, möglichst gering zu halten. Um brauchbare Schaubilder von bestimmten Vorgängen zu erhalten, müssen daher auch die jeweils richtigen Federn ausgewählt werden.

Jede Feder ist mit mehreren Marken versehen, die folgende Angaben erhalten:

a) Die Höhe des Schaubildes für 1 at Kolbendruck;
b) den für die Feder zulässigen Höchstdruck und
c) den Durchmesser des Indikatorkolbens, auf den sich die vorstehenden Angaben beziehen.

Ist eine Feder gezeichnet 1 kg/cm² $\triangleq$ 0,8 mm, 60 kg/cm² und K = 9,06 mm, so heißt das: bei der Verwendung eines Kolbens von 9,06 mm Durchmesser kann die Feder bis zu einem Höchstdruck von 60 at gebraucht werden, und 0,8 mm Schaubildhöhe entsprechen einem Druck von 1 at im Arbeitszylinder. Beim Indizieren eines Dieselmotors ist weiter zu beachten, daß der Hahn nicht länger als zum Aufzeichnen des Schaubildes nötig ist geöffnet wird, um zu starke Erwärmungen des Indikators zu vermeiden. Der Kolben muß nach dem Aufzeichnen von etwa 10 ... 20 Schaubildern geölt werden, weil er sonst zum Hängenbleiben neigt.

Für die Untersuchung schnellaufender Motoren kann der Indikator nur beschränkt Verwendung finden. Die normale Spiralfeder ist zu träge und kann den häufigen Wechseln nicht folgen. Es entstehen Schwingungen, die ein Aufzeichnen der Drucklinien unmöglich machen. Man ersetzte die Spiralfeder durch eine Stabfeder. Aber auch diese Apparate arbeiten nur bis etwa 1000 U/min einwandfrei. An Bord der Schiffe wird die Untersuchung der Motoren durch Zünddruckschaubilder in Verbindung mit der Prüfung der Kühlwasser- und Auspufftemperaturen ausgeführt. Zünddruckschaubilder erhält man, indem man die Papiertrommel in einer Stellung festhält und nur die Bewegung des Kolbens aufzeichnet. Da in jedem Zylinder die gleiche Menge Treiböl verbrannt werden soll, muß

bei gleicher Kühlung der Druck und die Auspufftemperatur die gleiche sein. Die Auspufftemperatur wird durch Thermoelemente gemessen und kann für jeden Zylinder an der Hitzemeßanlage abgelesen werden.

Die Auspufftemperatur ist aber auch abhängig vom Beginn der Einspritzung, also Früh- oder Spätzündung. Die Einstellung der Treibölpumpen muß daher sorgfältig vorgenommen werden. Ein genaues Bild des Verbrennungsvorganges läßt sich daher nicht mit einem normalen Schaubild erreichen, vor allen Dingen nicht, wenn es sich um schnellaufende Motoren handelt, wo leicht Fehler durch die Leistungsmesser selber entstehen.

Der richtige Zündzeitpunkt wird durch das handgezogene Schaubild ermittelt. Abb. 140a zeigt ein Arbeitsschaubild eines Dieselmotors mit luftloser Einspritzung bei Vollast. Abb. 140c dasselbe Schaubild um 90° versetzt. Bei p ist der Verdichtungsdruck von 30 at erreicht. Die nun einsetzende Verbrennungslinie soll wie Abb. 140a zeigt verlaufen. Der Zünddruck darf hierbei nicht über das normale Maß hinausgehen. Bei Frühzündungen, also zu zeitiger Treiböleinspritzung, verläuft die Verbrennungslinie nach dem Schaubild 140b. Der Zünddruck geht über das normale Maß hinaus (58 at), und die Richtung der Verbrennungslinie im gezogenen Schaubild ist nicht mehr die Verlängerung der Verdichtungslinie.

Die handgezogene Verbrennungslinie in Verbindung mit dem Zündhöchstdruck gibt also auch bei Motoren, die keinen eigenen Indikatorantrieb besitzen, ein Bild von dem Verbrennungsvorgang, wenn man Auspufftemperatur, Auspuffarbe, sowie Kühlwasserein- und -austrittstemperaturen mit beobachtet.

Das Schaubild einer Spätzündung zeigt Abb. 140d. Hier fällt im handgezogenen Schaubild die Verdichtungslinie schon wieder ab, wenn die Verbrennung einsetzt. Der Zündhöchstdruck bleibt jedoch um 10 at hinter dem normalen Druck zurück; es tritt ein Nachbrennen ein, welches sich hauptsächlich durch Ansteigen der Auspufftemperaturen bemerkbar macht.

Zünd- und Verdichtungsdruck-Schaubilder sind in Abb. 140c und g dargestellt. Bei aussetzenden Zylindern wird man zunächst den Verdichtungsdruck messen, da die hiervon abhängige Verdichtungstemperatur maßgebend zur Einleitung der Zündung ist.

Unregelmäßigkeiten in der Treibölzuführung zeigt das Schaubild Abb. 140f. Hier sind entweder verschmutzte Zerstäuber vorhanden, die keine genügende Verteilung des Treiböles gewährleisten, oder die Treibölpumpe ist undicht und die Düsennadel flattert, da die Druckleistung der Pumpe nicht genügt.

Verstellt man die Pumpen auf größere Fördermenge, so wird wohl die nötige Treibölmenge gefördert, aber nicht in der erforderlichen kurzen Zeit. Es tritt dann Nachbrennen des Treiböles während des Ausdehnungshubes ein. Der Auspuff wird qualmen und die Abgase verlassen mit zu hohen Temperaturen den Zylinder.

Schaubilder von Vorkammermaschinen zeigen unregelmäßige Spitzen bei der Verbrennung (Abb. 140h).

Von einschneidender Bedeutung für die Beurteilung des Ladevorganges sind die Schwachfederschaubilder. Hier setzt man schwache Federn ein, die bis zum Abschneiden der Linie (Gegenstoßen des Kolbens) den Druckverlauf des Ansauge- und Ausschubvorganges aufzeichnen (Abb. 140i).

Der Schnittpunkt der Verdichtungslinie mit der 0-Linie ist maßgebend für die Füllung mit Frischluft. Liegen Ansaugelinie und Ausschublinie zu weit von der 0-Linie ab, so ist auf Verschmutzen der Auspuff- oder Ansaugeleitungen zu schließen (Abb. 140j und k). Bei zu hohem Auspuffgegendruck tritt eine Rückausdehnung der Verbrennungsgase in den Zylinder ein, so daß auch hier die Ladeluftmenge sehr stark verringert wird.

Bei Zweitaktmotoren spielt das Schwachfederschaubild eine besonders große Rolle, da die schnelle Druckentlastung bei Hubwechsel für den Spülvorgang sehr wichtig ist. Zweitaktmotoren zeigen im Arbeitsschaubild eine Spitze, die mit der 0-Linie verläuft. Erst das Schwachfederschaubild gibt Auspuff- und Spüldrucke an (Abb. 140l).

Abb. 140m und n zeigen Schaubilder von Luftverdichtern. Bei der Nd.-Stufe öffnet das Nd.-Druckventil, wenn der Luftdruck im Zylinder den Federdruck des Ventils und den Gegendruck in der Leitung zum Kühler überwiegt. Um die genommenen Schaubilder richtig auswerten zu können, ist es wichtig, daß sie sofort beschriftet werden. Man vermerkt auf dem Indikatorpapier zweckmäßig: Bezeichnung des Motors, Zylinder, Drehzahl, Auspufftemperatur, Kühlwasserein- und -austrittstemperatur, Barometerstand, Nummer des Indikators, Datum, Belastung und Name des Schaubildnehmers.

D. Die Leistungsberechnung des Dieselmotors

Das normale Schaubild wird hauptsächlich zur Bestimmung des mittleren Kolbendruckes und damit zur Bestimmung der Zylinderleistung benutzt. Das Schaubild muß alle für die Errechnung der Leistung nötigen Angaben über den Betriebszustand der Maschine enthalten. Der mittlere Druck p_{im} kann mit Hilfe des Polarplanimeters gefunden werden. Mit dem Planimeter kann man eine beliebige Fläche umfahren und den Inhalt dieser Fläche bestimmen. Denkt man sich die Fläche des Schau-

bildes als Rechteck von gleicher Fläche, so kann man diese Fläche zur Bestimmung des mittleren Druckes benutzen. Die Länge des Schaubildes kann man abmessen. Von dem Rechteck ist so die Fläche und die Länge bekannt. Durch Division der Fläche durch die Länge erhält man die Höhe. Diese ist gleichbedeutend mit dem mittleren Druck, wenn man die Konstante des Planimeters und den Federmaßstab berücksichtigt. Es ist

$$p_{im} = \frac{\text{Ablesung} \cdot \text{Konstante}}{\text{Schaubildlänge} \cdot \text{Federmaßstab}} \text{ [kg/cm}^2\text{]},$$

oder

$$p_{im} = \frac{A \cdot K}{l \cdot f} \text{ [kg/cm}^2\text{]}.$$

Bei den gebräuchlichen Planimetern ist die Konstante 10, wenn man die Länge in Millimetern einsetzt. Es ist beim Planimetrieren darauf zu achten, daß das Planimeter beim Umfahren der Fläche einen Winkel von etwa 90° bildet. Die Ablesung kann man mit der Nullstellung beginnen oder man nimmt den Unterschied der Ablesungen von Beginn und Ende des Umfahrens der Fläche. Die Ablesungen werden genauer, wenn man die Fläche zwei- bis dreimal umfährt und dann die Ablesung durch zwei oder drei dividiert.

Man umfährt die positive Fläche des Schaubildes im Uhrzeigersinn und kann die negative Fläche gleich abziehen, wenn man die negative Fläche im entgegengesetzten Uhrzeigersinn umfährt. Die negative Fläche ist jedoch genauer aus einem Schwachfederschaubild zu berechnen. Mit Hilfe des mittleren Druckes kann die Leistung der Maschine errechnet werden. Die Leistung einer Kolbenmaschine ist:

$$\text{N} = \text{Kolbenkraft} \times \text{mittlere Kolbengeschwindigkeit in } \frac{kg \cdot m}{s}$$

oder

$$N_i = P \cdot v \text{ in } \frac{kgm}{s}$$

und da $75 \frac{kgm}{s} = 1$ PS ist, ist auch:

$$N_i = \frac{P \cdot v}{75} \text{ in PS.}$$

Die Größe der Kolbenkraft errechnet sich zu

$$\text{P} = \text{Kolbenfläche} \times \text{mittleren Druck in kg/cm}^2$$

oder

$$\text{P} = \text{F} \cdot \text{p}_{im} \text{ in kg.}$$

Unter Einsetzung der Formel für die Kolbenfläche wird, wenn D der Zylinderdurchmesser in cm ist,

$$P = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p_{im} \text{ in kg}$$

Bei der unteren Kolbenseite doppeltwirkender Maschinen ist der Flächeninhalt des Querschnittes der Kolbenstange von der Kolbenfläche abzuziehen. Für diesen Fall ist, wenn D der Zylinderdurchmesser in cm und d der Kolbenstangendurchmesser in cm ist,

$$P = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot p_{im} \text{ in kg}$$

Die mittlere Kolbengeschwindigkeit ist

$$v = \frac{2 \cdot s \cdot n}{60} \text{ in } \frac{m}{s}$$

wobei s der Hub des Kolbens in m und n die Drehzahl der Maschine in Umdrehungen pro Minute ist.

Es ist also die Leistung eines Zylinders einer Kraftmaschine:

$$Ni = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \cdot 2s \cdot n \cdot p_{im}}{60 \cdot 75} [PS]$$

Da bei einem einfachwirkenden Viertaktdieselmotor nur jeder vierte Hub ein krafterzeugender Hub ist, muß dieser Wert durch 4 dividiert werden, und es gilt für jeden Zylinder solcher Maschinen die Formel:

$$Ni = \frac{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 2 \cdot s \cdot n \cdot p_{im}}{60 \cdot 75 \cdot 4} [PS]$$

$$\text{oder } Ni = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \cdot s \cdot n \cdot p_{im}}{60 \cdot 75 \cdot 2} [PS]$$

Für jeden Zylinder eines einfachwirkenden Zweitaktmotors ist dann zu setzen:

$$Ni = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \cdot s \cdot n \cdot p_{im}}{60 \cdot 75} [PS]$$

Für jeden Zylinder einer bestimmten Maschine, deren Leistung bei verschiedenen Belastungen öfter zu berechnen ist, kann man die Festwerte zusammenziehen und die Rechnung mit Hilfe dieser Maschinenkonstanten vereinfachen. Es ist also für jeden Zylinder eines bestimmten einfachwirkenden Viertaktmotors:

$$K = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \cdot s}{60 \cdot 75 \cdot 2}$$

Für jeden Zylinder einer einfachwirkenden Zweitaktmaschine ist:

$$K = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \cdot s}{60 \cdot 75}$$

Bei einer beliebigen Drehzahl n und dem zugehörigen mittleren Druck p_{im} errechnet sich dann die Zylinderleistung zu:

$$Ni = K \cdot n \cdot p_{im} \quad [PS]$$

Zur Bestimmung der Gesamtleistung eines mehrzylindrigen Motors werden die so errechneten Leistungen der einzelnen Zylinder addiert.

Bei doppeltwirkenden Motoren errechnet man die Leistungen beider Zylinderseiten gesondert und addiert sie. Bei Berechnung des Festwertes für die untere Zylinderseite ist, wie schon erwähnt, der Querschnitt der Kolbenstange zu berücksichtigen. Es ist also für die untere Zylinderseite eines Zylinders jedes doppeltwirkenden Zweitaktmotors:

$$K = \frac{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\, s}{60 \cdot 75}$$

Die wirkliche Leistung eines Dieselmotors, d. h. die Leistung, die tatsächlich an die Welle abgegeben werden kann, bestimmt man meist durch Abbremsen oder durch die Belastung der Maschine mit Hilfe einer E Maschine, deren Wirkungsgrade bei verschiedenen Leistungen bekannt sind.

Bei Bootsmotoren wird das Messen der Leistung durch Nehmen von Schaubildern meist nicht möglich sein. Um die einzelnen Zylinderleistungen zu messen, schaltet man nacheinander die Treibölpumpen einzeln ab und beobachtet das Zurückgehen der Umdrehungen, also den Abfall der Leistung. Fallen die Umdrehungen nicht gleichmäßig um denselben Betrag bei Ausschalten eines Zylinders, so ist die Zylinderleistung nicht gleichmäßig, und es muß durch Nachstellen der Pumpen, Nehmen von Verdichtungsschaubildern usw. der Grund für das Abweichen der Leistung gefunden werden.

Neuerdings verwendet man Mitteldruckmesser, die auf den Flammhahn aufgesetzt werden können, zur Bestimmung des mittleren Zeitdruckes. Die Geräte beruhen darauf, daß eine Schwungmasse gegen eine Federkraft durch Zündstöße im Zylinder in gedämpfte Pendelbewegungen versetzt wird. Diese Schwungmasse stellt sich auf einen mittleren Wert ein, der durch Zeiger an der Einteilung abgelesen werden kann. Die Geräte haben den Vorteil, daß sie keinen Antrieb benötigen und gerade für hohe Umdrehungen benutzt werden können, wo das Nehmen von Schaubildern nicht ohne große Schwierigkeiten zu erreichen ist.

E. Betriebsstörungen des Dieselmotors und deren Beseitigung

Treten beim Anlassen oder im Betriebe des Motors Störungen ein, so muß man erst mit ruhiger Überlegung den Ursachen auf den Grund gehen, und dann, nachdem die Störung erkannt ist, durch rasches, zielbewußtes Arbeiten diese beseitigen. Ist die Störung so schwerer Natur, daß Gefahr für die Sicherheit des Motors oder einzelner wichtiger Teile besteht, so ist sofort zu stoppen. Besteht eine unmittelbare Gefahr nicht, so ist, wenn die Störung im Betriebe nicht beseitigt werden kann, die Erlaubnis zum Stillsetzen des Motors einzuholen. Im folgenden sind einige der am häufigsten vorkommenden Störungen und ihre Beseitigung angeführt:

1. Störungen beim Anlassen

Art der Störung	Mögliche Ursache	Abhilfe
1. Motor dreht sich nicht.	a) Stromspeicher entladen. b) Verbindung der elektr. Leitung schlecht. c) Keine oder zuwenig Anlaßluft.	a) Stromspeicher auswechseln oder laden. b) Ausbessern. c) Anlaßluftbehälter auffüllen.
2. Motor dreht zu langsam durch.	a) Wie zu 1. oder b) der Motor ist zu kalt.	a) Motor mit warmem Wasser vorwärmen b) Der Motor darf unter keinen Umständen mit einer Flamme (zum Beispiel Lötlampe) vorgewärmt werden.
3. Der Motor zündet nicht.	a) Luft in der Treibölleitung oder in der Treibölpumpe. b) Treibölpumpe fördert nicht, weil Ventile undicht. c) Kein Treiböl im Fallbehälter. d) Glühkerzen glühen nicht oder sind zerstört. e) Wasser im Treiböl. f) Treibölfilter verschmutzt. g) Füllungshebel liegt auf Nullstellung. h) Treibölventil undicht bzw. spritzt nicht ab, weil Düsennadel undicht. i) Der Motor hat keine Verdichtung, das heißt, er läßt sich bei Stellung auf Betrieb leicht durchdrehen, da Ein- und Auslaßventile undicht sind oder hängen bleiben, oder der Arbeitskolben bläst zu stark durch. k) Der Motor läuft trotz Öffnen des Ventils der Luftflasche nicht an, weil Anlaßstellung nicht stimmt oder der Ventilkegel hängen bleibt. l) Der Motor läuft nicht an, weil Hebel nicht auf „Anlaßstellung“ steht. m) Der Motor pendelt, statt sich zu drehen, weil das Luftsteuerventil hängen bleibt, oder der Anlaßventilkegel klemmt.	a) Treibölpumpen und Leitungen entlüften. b) Abdichten der Ventile oder Auswechseln der Pumpen. c) Fallbehälter auffüllen. d) Stromspeicher prüfen. Glühkerzen auswechseln. e) Treibölbehälter und Leitungen entwässern. f) Filter reinigen. g) Füllungshebel auf Vollast legen. h) Prüfen des Treibölventils und Beseitigung der Störung. i) Ventile mit Petroleum oder Treiböl schmieren und gangbar machen bzw. nachschleifen. Kolbenringe gangbar machen oder erneuern. k) Schwungrad auf Anlaßstellung bringen; Ventilkegel im Anlaßventil beweglich machen. l) Betriebshebel auf Anlaßstellung schalten. m) Beide Ventile beweglich machen.

2. Störungen im Betrieb

Art der Störung	Mögliche Ursache	Abhilfe
1. Der Motor läuft an, zündet unregelmäßig oder bleibt stehen.	a) Der Treibölbehälter ist leer. b) Treibölzuflußventil ist geschlossen. c) Treibölfilter ist verstopft.	a) Treibölbehälter auffüllen. b) Treibölzuflußventil öffnen. c) Filter reinigen.
2. Der Motor stößt während des Betriebes oder rußt.	a) Düsennadel undicht oder bleibt hängen. b) Ein oder mehrere Zylinder arbeiten nicht.	a) Treibölventil reinigen. b) Treibölpumpen, Leitungen und Ventile entlüften.
3. Der Motor klopft	a) Der Motor ist heißgelaufen. b) Die Kolbenschmierung ist ungenügend. c) Kolbenbolzen oder Treibstangenlager sind zu lose. d) Der Motor hat zuviel Frühzündung.	a) Langsam abkühlen. b) Kolbenschmierung prüfen. c) Die zu losen Lager nacharbeiten. d) Einspritzzeitpunkt verändern.
4. Die Lager werden zu heiß, das heißt, die Lagertemperatur übersteigt die Kühlwassertemperatur.	a) Kein oder zuwenig Motorenöl im Verbrauchsbehälter. b) Motorenöl zu stark verunreinigt. c) Motorenölfilter verstopft. d) Motorenölleitung gebrochen oder undicht. e) Motorenöl verseift.	a) Verbrauchsbehälter auffüllen. b) Motorenöl erneuern bzw. reinigen. c) Filter reinigen. d) Motorenölleitung instandsetzen. e) Wasserzufluß suchen und abstellen. Motorenöl auswechseln.
5. Der Motor läßt in der Leistung nach, das heißt, er geht trotz gleicher Belastung in der Drehzahl zurück und rußt.	a) Ein- und Auslaßventile sind undicht oder bleiben hängen. b) Das Luftansaugerohr ist verschmutzt. c) Treibölventile und Treibölpumpen sind nicht in Ordnung.	a) Ventile mit Petroleum oder Treiböl schmieren und gangbar machen bzw. nachschleifen. b) Das Luftsaugerohr reinigen. c) Ventile und Pumpen nachsehen und Fehler beseitigen.
6. Der Motor bleibt plötzlich stehen.	a) Treiböl fehlt. b) Luft in der Leitung der Treibölpumpen oder im Treibölventil. c) Treibölfilter oder Treibölleitung undicht oder Wasser im Treiböl. d) Lager und Kolben sind festgefressen.	a) Treiböl auffüllen. b) Leitungen, Pumpen und Ventile entlüften. c) Filter und Leitungen nachsehen und dichten bzw. reinigen. Wasser am Treibölfilter ablassen. d) Lager bzw. Kolben ausbauen, instandsetzen oder erneuern.
7. Der Öldruck sinkt, trotzdem der Ölstand normal ist. (Der Öldruck darf nicht unter 0,4 at sinken.)	a) Motorenöldruckleitung undicht. b) Motorenölpumpe fördert nicht. c) Motorenölfilter verstopft. d) Motorenöl ist zu dünn. e) Öldruckregelventil falsch eingestellt.	a) Motorenöldruckleitung nachsehen und dicht verschrauben. b) Pumpe ausbauen und prüfen, ob dieselbe bzw. der Antrieb in Ordnung ist. c) Filtereinsatz reinigen. d) Motorenöl erneuern oder nachprüfen, ob die Zähflüssigkeit den Vorschriften entspricht. e) Feder am Regelventil nachspannen.
8. Kühlwassertemperatur ist zu hoch.	a) Kühlwassermangel. b) Sauge- oder Druckventil der Kühlwasserpumpe sind undicht oder bleiben hängen. c) Entwässerungshahn in der Saugeleitung ist geöffnet. d) Der Motor ist überlastet und brennt nach.	a) Rücklaufventil an der Kühlwasserpumpe schließen. b) Ventil gangbar machen bzw. nachschleifen. c) Entwässerungshahn schließen. d) Motor entlasten und evtl. Einspritzbeginn früher stellen.
9. Kühlwasser fehlt.	a) Bodenventil ist nicht geöffnet oder Umlaufbehälter ist leer. b) Kühlwasserpumpe versagt. c) Filter in der Saugeleitung ist verstopft.	a) Bodenventil öffnen oder Umlaufbehälter füllen. b) Kühlwasserpumpe instandsetzen. c) Filter reinigen.
10. Aufladung versagt.	a) Beim Aufladen wird in der Luftflasche nicht genügend oder überhaupt kein Druck erzeugt, weil das Ladeventil nicht in Ordnung ist oder der Kolben zu stark durchbläst.	a) Ventilkegel des Ladeventils gangbar machen und einschleifen bzw. Kolbenringe am Arbeitszylinder gangbar machen oder erneuern.

3. Störungen an der Treibölpumpe

Art der Störung	Mögliche Ursache	Abhilfe
1. Pumpe fördert nicht.	a) Luft in der Pumpe. b) Pumpenkolben hängengeblieben. c) Druckventil hängengeblieben.	a) Luft entfernen. b) Zeigt der Pumpenkolben eine Freßstelle, Kolben mit feinem Ölstein abziehen. Sind Kolben und Zylinder ernstlich beschädigt, neue Kolben und Zylinder einbauen. c) Ventil und Sitz reinigen. Wenn Ventil beschädigt, neues Ventil mit Ventilträger einbauen.
2. Pumpe fördert unregelmäßig.	a) Luft in der Pumpe, Treiböl tritt bei Lösen der Rohrverschraubung der Druckleitung mit Bläschen vermischt aus. b) Druckventilfeder gebrochen. c) Druckventil beschädigt. d) Feder am Pumpenkolben gebrochen. e) Pumpenkolben bleibt ab und zu hängen. f) Ungenügender Treibölzufluß. g) Filter oder Treibölleitung verunreinigt. h) Zulaufgefälle zu klein.	a) Pumpe und Leitung entlüften. b) Austauschen. c) Druckventil mit Ventilträger auswechseln. d) Auswechseln. e) Kolben und Pumpenzylinder reinigen. f) Filter oder Treibölleitung reinigen. g) wie f. h) Zulaufgefälle vergrößern.
3. Pumpe fördert zuwenig oder zuviel.	a) Druckventil undicht. b) Verschraubung undicht. c) Klemmschraube an dem gezahnten Klemmstück hat sich gelöst. d) Füllungsanschlag auf Zahnstange hat sich gelöst.	a) Neues Ventil mit Ventilträger einsetzen. b) Gut festziehen. c) Auf Marke einstellen und Schraube gut festziehen. d) Neu aufsetzen.
4. Pumpe fördert zu spät.	a) Kupplung hat sich gelöst, Strichmarke prüfen. b) Spritzversteller abgenutzt, zuviel Spiel. c) Einstellschraube im Stößel hat sich gelöst. d) Nocken beschädigt.	a) Richtig einstellen. b) Zündung an Kupplung verstellen, abgenutzte Teile auswechseln. c) Einstellschraube wieder richtig einstellen, gut anziehen. d) Neue Nockenwelle einbauen.
5. Reglerstange läßt sich nicht verschieben.	a) Pumpenkolben sitzt fest oder Reglerstange ist verharzt.	a) Pumpe reinigen.

SIEBENTER TEIL

Dieselmotoren mit Lufteinspritzung, Glühkopf- und Ottomotor

A. Der Dieselmotor mit Lufteinspritzung

Allgemeines

Wenn auch der Einblasedieselmotor heute durch den Einspritzdieselmotor fast völlig verdrängt worden ist, so gibt es doch noch sehr viele ältere Anlagen, bei denen das Treiböl mit Hilfe der Einblaseluft eingespritzt wird.

Die Drucklufteinspritzung macht die Anordnung eines Luftverdichters notwendig, der dauernd mit dem Motor in Betrieb gehalten werden muß. Außerdem müssen Luftflaschen und entsprechende Leitungen vorgesehen werden. Das bedeutete eine Vermehrung der Bau- und Bedienungsschwierigkeiten und eine Verteuerung des Motors. Diese Nachteile kommen hauptsächlich bei kleineren Motoren zur Geltung. Es ist ferner zu berücksichtigen, daß bei einem kleinen Fehler am Verdichter, also einer Hilfsmaschine, der ganze Hauptmotor ausfällt.

Die Verbrennung erfolgt annähernd im Gleichdruck.

Das Viertaktverfahren (Abb. 133)

1. Takt: Der abwärtsgehende Kolben saugt durch das geöffnete Einsaugeventil reine Luft an.

2. Takt: Aufwärtsgehend verdichtet der Kolben diese Luft auf 28 ... 32 at, wobei die Temperatur der Luft auf etwa 600 ... 800° C steigt.

3. Takt: Beim Beginn des neuen Abwärtsganges des Kolbens wird das Treiböl durch Druckluft fein verteilt in die heiße Luft eingeblasen. Es entzündet sich daran und verbrennt mit gleichbleibendem Druck. Nach der Verbrennung wird der Kolben von den sich ausdehnenden Gasen bis in die untere Totlage getrieben. Dieser Takt ist der Arbeitshub.

4. Takt: Der wieder aufwärtsgehende Kolben schiebt die verbrannten Gase durch das geöffnete Auslaßventil ins Freie.

Die Arbeitsweise ist also dieselbe wie beim Einspritzmotor bis auf die Verbrennung. Die Verbrennungsdrucklinie 3 ... 4 soll beim Einblasedieselmotor annähernd gerade und parallel zur atmosphärischen Linie verlaufen. Diese Gleichdruckverbrennung wird dadurch erzielt, daß die Druckzunahme, hervorgerufen durch die Verbrennung, ausgeglichen wird durch die Raumvergrößerung infolge der Kolbenbewegung.

Das Treiböl muß mit einer bestimmten Geschwindigkeit in den Zylinder eingeführt, fein verteilt und mit der verdichteten Luft gemischt werden, um diese gesteuerte Gleichdruckverbrennung zu erzielen. Man benutzt zur Einführung des Treiböles Druckluft. Der Druck der Einblaseluft beträgt je nach der Drehzahl und Belastung der Maschine 45 ... 80 at. Er muß mindestens 12 at höher als der Verdichtungsdruck im Zylinder sein. Beim Öffnen des Treibölventils fällt der Druck der Einblaseluft auf den Verdichtungsdruck. Die Einblaseluft erlangt dadurch eine sehr hohe Geschwindigkeit, und das im Treibölventil lagernde Treiböl wird im fein verteilten Zustande in den Zylinder gerissen und mit Luft vermischt, so daß jedem Treibölteilchen die notwendige Verbrennungsluft

zugeführt wird. Die Einblaseluft hat also das Treiböl zu zerstäuben, es einzuführen und mit der verdichteten Luft zu vermischen. Nebenbei vermehrt sie auch die Verbrennungsluftmenge im Zylinder.

Die Verdichtungstemperatur von 400 ... 600° C liegt weit über der Zündtemperatur der benutzten Treiböle, so daß Selbstzündung eintritt, wenn das Treiböl in die heiße Luft gelangt. Einspritzung und Verbrennung erfolgen nicht zu gleicher Zeit, es entsteht eine Verzögerung in der Zündung des zugeführten Treiböles. Man ist daher gezwungen das Treibölventil wenige Grade Kurbeldrehung (etwa 3 ... 6°) vor dem Kolbentotpunkt öffnen zu lassen, um die volle Entflammung im Totpunkt zu erreichen. Die Einführung des Treiböles erstreckt sich über etwa 30 ... 40° Drehung der Kurbel. Die Treibölverteilung ist bei Einblasemotoren weit besser zu regeln als bei Einspritzmotoren. Das Treiböl wird mehr zerrissen und verbrennt schneller, weil die Tröpfchen nur etwa 1/8 des Durchmessers besitzen wie die der Einspritzmotoren. Durch Regelung des Einblasedruckes ist eine Anmessung an den jeweiligen Belastungszustand des Motors möglich.

Die Verbrennungstemperatur steigt auf etwa 1600 ... 1800° C. Der Verbrennungsdruck steigt dabei um etwa 2 ... 4 at über den Verdichtungsdruck.

Beim Zweitaktverfahren sind die Vorgänge ebenfalls dieselben wie beim Einspritzmotor bis auf die Einführung und Verbrennung des Treiböles.

1. Treibölventile und Zerstäuber

Nach dem Arbeitsverfahren der Dieselmotoren soll reine Luft bis zu einer Temperatur verdichtet werden, die das zugeführte Treiböl sicher entzündet. Die eingeleitete Verbrennung kann aber nur dann einwandfrei erfolgen, wenn das Treiböl gleichmäßig über den ganzen Brennraum in fein verteilter Form eingespritzt wird.

Die erste Vorbedingung, die nötige Zündtemperatur zu erhalten, kann durch die Höhe des Verdichtungsdruckes ohne Schwierigkeit erreicht werden.

Die zweite Forderung, das Treiböl für die fast zeitlose Verbrennung aufzubereiten, konnte nur durch besondere Einrichtungen und auch nur bis zu einem gewissen Maße erreicht werden. Diese innige Mischung läßt sich unter Zuhilfenahme hochverdichteter Luft erreichen, die das Treiböl durch einen Zerstäuber in den Brennraum einbläst.

Das Treiböl wird mengenmäßig dem Treibölventil je nach dem Belastungszustand des Motors durch die Treibölpumpe zugeführt. Die Einblaseluft wird durch eine Nadel von der Nockenwelle gesteuert und reißt das Treiböl in den Brennraum. Nach der Art der Vorlagerung des Treiböles unterscheidet man Treibölventile mit offener und geschlossener Düse. Bei der offenen Düse ist das Treiböl außerhalb der Treibölnadel vorgelagert, die Nadel steuert nur die Luft. Zur Treibölförderung werden nur geringe Pumpendrucke benötigt. Bei den geschlossenen Düsen werden Treiböl und Luft gleichzeitig von der Nadel gesteuert. Die Treibölpumpendrucke müssen daher höher gewählt werden als der benötigte Einblaseluftdruck.

Der Zerstäuber soll für die Verteilung des Treiböles und seine innige Mischung mit der Einblaseluft Sorge tragen. Des weiteren muß durch seine Bauart sichergestellt werden, daß bei der Nadeleröffnung auch sofort Treiböl — der sogenannte Zündtropfen — und nicht erst eine größere Menge Einblaseluft in den Zylinder gelangt. Die Zerstäuber lassen sich in Platten- und Kanalzerstäuber unterteilen (Abb. 145 und 146).

Die Plattenzerstäuber erhalten eine Anzahl Lochplatten, die mit geringem Abstand übereinander stehen und durch einen Zerstäuberkonus gehalten werden. Das von der Treibölpumpe geförderte Treiböl verteilt sich über diese Platten und wird beim Öffnen der Nadel durch die Einblaseluft in den Zylinder geblasen. Da die Bohrungen der Lochplatten zueinander versetzt stehen, wird das Zerreißen und Mischen des Treiböles mit Luft durch den gewundenen Weg unterstützt. In der Düsenplatte wird das Treiböl weiter zerstäubt und schirmartig über den Zylinderbrennraum verteilt. Dadurch wird erreicht, daß jedes Treibölteilchen im Verbrennungsraum die zu seiner Verbrennung nötige Luftmenge sofort vorfindet. Die Energie, die den einzelnen Tröpfchen durch die starke Beschleunigung beim Einblasen innewohnt, soll hinreichen, das verdichtete Luftkissen zu durchschlagen. Jedoch soll die Zerstäubung auch so fein sein, daß die Verbrennung erfolgt, ehe einzelne Teilchen bis an die verhältnismäßig kalten Wände der Zylinder gelangen. Dort würden sich die Treibölteilchen niederschlagen und von dem arbeitenden Kolben in die Kurbelwanne gefördert werden (Motorenölverdünnung). Auch der Kolben darf von dem Treibölluftstrahl nicht getroffen werden, da bei stärkerer Ansammlung von Treiböl auf dem Kolben eine unvollkommene Verbrennung eintritt, wobei sich Koks auf dem Kolben bildet. Der Ölkoksbildung kann man begegnen, indem man in den Kolben Glüheinsätze einbaut, da bei sehr hohen Temperaturen das Treiböl verdampft und ohne Rückstände verbrennt. Bei niedrigen Temperaturen bleibt das Treiböl flüssig und nur die mittleren Temperaturen begünstigen die Koksbildung.

Neben der Form des Verbrennungsraumes spielen die Größe der Tröpfchen, ihre Geschwindigkeit beim Eintritt in den Zylinder und die Art ihrer Verteilung auf die Verbrennungsluftmenge die Hauptrolle bei der vollkommenen Verbrennung des Treiböles.

Abb. 145 zeigt ein Treibölventil mit Lochplattenzerstäuber. Das Treiböl wird durch den Kanal a an den Zerstäuberkonus geführt, steigt durch die Bohrung über die Lochplatten c und verteilt sich über diese. Dadurch wird erreicht, daß das Treiböl tatsächlich bis zum Nadelkonus gelangt, also immer ein Zündtröpfchen vorhanden ist. Wird die Nadel geöffnet, so reißt die Einblaseluft, welche in dem Ringraum steht, das Treiböl durch die Plattenbohrungen, durch die Kanäle des Zerstäubers und durch die Einlochdüsenplatte in den Zylinder, wobei die Form der Düsenplatte die schirmartige Ausbreitung begünstigt.

Einen Kanalzerstäuber zeigt die Abb. 146. Bei diesem wird die feine Verteilung des Treiböles und seine Vermischung mit der Einblaseluft beim Durchblasen durch mehrere feine Ringspalten erreicht. Das Treiböl fließt durch den Kanal a dem Zerstäuberkonus b zu und steigt in dem Ringspalt zwischen Nadel und innerer Konuswand hoch. Die Einblaseluft steht in dem Ringraum c und tritt beim Öffnen der Nadel durch die Bohrungen d und die feinen Spaltquerschnitte auf das lagernde Treiböl, zerreißt es fein und bläst die Treibölteilchen durch die Mehrlochdüsenplatte schirmartig in den Verbrennungsraum. Die Größen der Spalte sind veränderlich und werden der Menge und der Art des Treiböles angepaßt.

Ein großer Nachteil der Treibölventile ist es, daß die Nadeln bei unsachgemäßer Verpackung und Wartung zum Hängenbleiben in geöffneter Stellung neigen. Dann treten Einblaseluft und Treiböl zu früh in den Zylinder ein. Es kommt zu hohen Verbrennungsdrucken, explosionsartigen Zündungen im Treibölventil selbst und auch mitunter in der Einblaseleitung.

2. Die Treibölpumpen

Die Treibölpumpen haben die Aufgabe, jedem Treibölventil die für jeden Verbrennungsvorgang notwendige Treibölmenge, genau abgemessen, zuzuführen. Die Pumpen fördern das Treiböl gegen den Einblasedruck von 40 ... 80 at in die Treibölventile. Da außerdem erhebliche Ventil- und Leitungswiderstände vorhanden sind, kann der Förderdruck im Pumpengehäuse auf etwa 100 at ansteigen.

Die Abmessungen der Treibölpumpe sind verhältnismäßig sehr gering. Man baut darum Treibölpumpen für eine bedeutend größere Fördermenge als tatsächlich notwendig ist. Der Pumpenkolben saugt dann eine größere Menge Treiböl an und drückt beim Beginn des Druckhubes einen Teil davon durch das zwangsläufig offen gehaltene Saugeventil in den Saugeraum zurück. Nur der verbleibende Rest, der so groß ist, daß die gerade verlangte Leistung des Motors erzielt wird, gelangt nach dem Schluß des Saugeventils in das Treibölventil. Der Anfang des Pumpendruckhubes ist daher veränderlich, das Ende fällt mit der Kolbenumkehr des Pumpenkolbens zusammen. Im Dieselmotorenbau ist es üblich, jedem Zylinder, und bei doppeltwirkenden Motoren auch jeder Zylinderseite, eine eigene Treibölpumpe zu geben. Die Pumpen werden gewöhnlich in einem Block zusammen gebaut und die Kolben gruppenweise angetrieben. Jede Treibölpumpe eines Viertaktmotors hat während zweier Umdrehungen der Kurbelwelle einen Druckhub zu leisten.

Der Aufbau der Treibölpumpen

Die Treibölpumpen werden in der Regel wegen der hohen Druckbeanspruchung aus einem massiven Flußeisenblock gebaut. Die Zylinder, Ventilräume und Verbindungskanäle werden ausgebohrt. Da auch die geringsten Luftmengen in den Pumpen schädlich sind, werden an den Stellen, die eine Luftsackbildung möglich machen, Entlüftungsschrauben angebracht. Beim erstmaligen Füllen der Pumpen werden diese so lange geöffnet, bis auch die kleinsten Luftmengen entfernt sind.

Die Kolben der Pumpen werden aus Stahl gefertigt, an der Oberfläche gehärtet und geschliffen. Sie laufen in Buchsen aus dichtem Gußeisen und werden in diese so sauber eingeschliffen, daß ein Verpacken unnötig ist.

Das Saugeventil ist ein Kegelventil, das mit geringer Federbelastung auf seinen Sitz gedrückt wird. Gewöhnlich gibt man jeder Pumpe z w e i federbelastete Glockenventile als Druckventile, um unter allen Umständen ein Zurückdrücken des Treiböles durch den hohen Einblasedruck zu verhindern. Zum Vollpumpen der Leitungen bei stehendem Motor werden Handkolben vorgesehen. Der Antrieb der Pumpenkolben erfolgt durch Kurbeln, Scheibenkurbeln oder Nocken mit der Umlaufzahl der Nockenwelle.

Die Steuerung der Saugeventile wird in der Regel vom Pumpenkolbenantrieb aus abgeleitet. An die Saugeventilsteuerung greift auch gleichzeitig das Regelgestänge für die Leistungsregelung an. Gewöhnlich werden auch Sicherheitsregler vorgesehen, die beim Durchgehen des Motors die Steuerung des Saugeventils beeinflussen.

Um die Treibölpumpen von der eigentlichen Ansaugearbeit zu entlasten, läßt man ihnen Treiböl aus dem Verbrauchsbunker unter Druck zufließen. Im Saugeraum selbst sorgt gewöhnlich ein Schwimmer für eine gleichbleibende Treibölspiegelhöhe.

Abb. 144 zeigt schematisch den Aufbau einer Treibölpumpe. Der Pumpenkolben K saugt, getrieben durch eine Kurbel und die Treibstange P, beim Hochgehen das Treiböl durch das geöffnete Saugeventil S an, das durch die Saugewirkung und das Steuergestänge G gehoben wird. Die Betätigung des Gestänges G erfolgt durch einen einarmigen Hebel Z, der mit dem Kolben bewegt wird.

Abwärtsgehend drückt der Kolben das angesaugte Treiböl solange in den Saugeraum zurück, bis der Druckstößel d des Gestänges G den Saugeventilschaft frei gibt. Dann schließt das Saugeventil, und der Rest des Treiböles wird durch die beiden Druckventile D in das Treibölventil gedrückt. Von da aus wird es beim nächsten Verbrennungsvorgang durch Druckluft in den Zylinder geblasen.

Steigt die Drehzahl des Motors durch plötzliche Entlastung um etwa 5% über den höchst zulässigen Wert, so wird das Gestänge G_1 durch einen Fliehkraftregler angehoben. Dadurch wird das Saugeventil der Pumpe dauernd von seinem Sitz gehoben und der Motor muß stehen bleiben, weil kein Treiböl mehr in das Treibölventil gelangt.

Durch den Handkolben H kann die Treiböldruckleitung vor Betriebsbeginn aufgepumpt werden. Dieser wirkt wie ein zweiter Pumpenkolben, wobei Sauge- und Druckventile normal betätigt werden.

3. Die Regelung des Dieselmotors mit Einblaseluft

Die Leistungsregelung eines Dieselmotors erfolgt durch Änderung der für jeden Verbrennungshub erforderlichen Treibölmenge. Diese Änderung wird bei Einblasedieselmotoren allgemein durch die Steuerung des Saugeventils der Treibölpumpe herbeigeführt. Um eine geringere Leistung zu erzielen, muß die Fördermenge der Treibölpumpe verkleinert werden. Bei Schiffsmotoren ist die Verringerung der Leistung stets mit einer Verringerung der Drehzahl verbunden, ortsfeste Motoren dagegen regeln meist auf eine gleichbleibende Drehzahl.

Der Abstand a des Druckstößels d von dem Saugeventilschaft in Abb. 144 bestimmt das Eintreten des Ventilabschlusses. Macht man den Abstand größer, so wird das Saugeventil früher freigegeben und die Fördermenge der Treibölpumpe vergrößert. Die Leistung des Motos steigt. Verkleinert man a, so sinkt die Leistung, weil die Pumpe weniger Treiböl fördert. Die Verlegung des Drehpunktes c für den einarmigen Hebel Z durch das Reglergestänge der Handregelung hat eine Änderung des Abstandes a zur Folge.

4. Betrieb des Einblasedieselmotors

Die Zuhilfenahme von hochverdichteter Luft zur Einführung des Treiböles in den Brennraum des Motors läßt eine weitgehende Regelung entsprechend dem Belastungszustand des Motors zu. Angestrebt wird eine Gleichdruckverbrennung, d. h. der Zünddruck soll nicht wesentlich höher liegen als der Verdichtungsenddruck. Die Treibölzufuhr erfolgt kurz vor dem oberen Totpunkt und ist etwa 40° nach dem Totpunkt beendet. Der nach unten gehende Kolben gibt einen größeren Verbrennungsraum frei. Gleichzeitig wird aber auch der Rauminhalt der Verbrennungsgase unter der hohen Verbrennungstemperatur von $\approx 1600°$ C erheblich anwachsen, so daß bei der Verbrennung weder eine Drucksteigerung noch ein Druckabfall eintritt. (Waagerechter Verlauf der Schaubildlinie in Abb. 142 und 143.)

Einblasedruckregelung

Soll der Motor in einem großen Drehzahlbereich einwandfrei arbeiten, so läßt man den Einblasedruck nicht gleichmäßig hoch, sondern paßt ihn dem Belastungszustand an. Bei schnellem Lauf des Motors ist die Zeit, in welcher der Kurbelwinkel der Treibölzufuhr (Eröffnungszeit der Treibölnadel) durcheilt wird, bedeutend kürzer, als wenn derselbe Motor mit geringen Umdrehungen arbeiten soll. Die Treibölmenge ist aber im ersten Fall geringer als im zweiten, da ja die höhere Leistung nur durch die Verbrennung einer größeren Treibölmenge im Zylinder des Motors erreicht werden kann. Diese größere Menge kann man nur fördern, wenn man den Einblasedruck entsprechend erhöht, weil dann das durch die Treibölpumpen vorgelagerte Treiböl entsprechend dem höheren Druck schneller durch das Nadelventil in den Brennraum hineingerissen wird.

Bei Leerlauf oder sehr kleiner Belastung würde ein hoher Einblasedruck unter Umständen die Zündung verhindern, da die Einblaseluft bei ihrem Eintritt in den Brennraum entspannt wird, sich ausdehnt und hierzu Wärme benötigt, die sie der Umgebung, also der hochverdichteten Luft entzieht. Es muß Sorge getragen werden, daß in diesem Falle der Einblaseluftdruck niedrig gehalten wird. Auch hier ist jedoch eine Grenze gesetzt, da bei einem zu geringen Druckunterschied zwischen Verdichtungsenddruck und Einblaseluftdruck die Zerstäubung ungenügend wird. Das Treiböl, das zu wenig fein zerrissen und ungleichmäßig in den Verbrennungsraum gelangt, zündet nicht sofort, sondern brennt nach. Dasselbe Nachbrennen erfolgt, wenn die Treibölnadel zu spät öffnet. Zu hoher Einblasedruck fördert schon zu viel Treiböl vor dem oberen Totpunkt. Die Verbrennung erfolgt schlagartig unter starker Drucksteigerung. Dieselben Verhältnisse treten bei der Verbrennung auf, wenn die Treibölnadel zu früh öffnet.

Die Regelung des Einblaseluftdruckes kann von Hand oder durch selbsttätige Hilfsanlagen erfolgen.

Nadelhubregelung

Aus dem Vorhergesagten geht hervor, daß eine gewisse Schwierigkeit darin besteht, daß bei wechselnder Belastung in einem möglichst weitgehenden Drehzahlbereich die Treibölzufuhr g l e i c h m ä ß i g während der ganzen Eröffnungszeit der Treibölnadel zugeführt wird. Ist nur wenig Treiböl in den Zerstäubern vorgelagert, so reißt die Luft dasselbe sofort beim Anheben der Nadel in den Brennraum. Die noch offengehaltene Nadel läßt nun weiter Einblaseluft einströmen, die weder für die Verbrennung noch für die Treibölverteilung gebraucht wird und daher nur schädliche Wirkung hat.

Da der Hub der Treibölnadel bei normaler Bauausführung infolge der Nockenerhöhung gleichbleibend ist, so suchte man den Treibölnadelhub zu beeinflussen, um den Ringspalt zwischen Ventilsitz und Ventilkegel zu verändern. Dies geschah durch Anwendung einer zweiten starken Feder über der Treibölnadel, die weit stärker gehalten war als die eigentliche Schließfeder des Ventils. Diese starke Feder wurde erst dann zusammengepreßt, wenn die durch eine verstellbare Spindel regelbare Nadelhubbegrenzung ein weiteres Anheben der Treibölnadel verhinderte (Abb. 146).

Auch die Nadelhubregelung konnte von Hand oder selbsttätig eingestellt werden.

Einblasedruck und Nadelhubregelung sind also Hilfsmittel, die bei der Treibölzufuhr bei wechselnder Belastung angewendet werden müssen. Die eigentliche Leistungsänderung geschieht bei allen Dieselmotoren lediglich durch die zugeführte Treibölmenge, also durch die Treibölpumpen.

Durch die vorgenannten Einrichtungen wird Einblaseluft und damit Verdichterarbeit gespart. Hauptsächlich bei Motoren mit angekuppeltem Verdichter wird bei langsamen Umdrehungen die geförderte Luftmenge bedeutend geringer, so daß Einblaseluftmangel gerade in diesen Belastungsstufen eintritt.

B. Glühkopfmotoren (Abb. 147)

Bei den Glühkopfmotoren wird Luft und Brennstoff (Treiböl oder Petroleum) getrennt in den Zylinder eingeführt. Der Verdichtungsenddruck beträgt $\approx 12 \ldots 16$ kg/cm², so daß eine Zündung des eingespritzten Brennstoffes in der verdichteten Luft nicht eintritt. Zur Einleitung der Zündung bedient man sich eines Glühkopfes, der einen Teil des Verbrennungsraumes bildet und beim Anfahren des Motors fremd beheizt werden muß. Durch die Brennstoffpumpe wird der Brennstoffstrahl mit ≈ 40 at in die Glühhaube eingespritzt. Besondere Einrichtungen des Brennstoffventils lassen den Strahl in fein verteilter Form auf die Glühhaube treffen, wo dann die Verbrennung unter einem starken Zündverzug eingeleitet wird. Die Verbrennung ähnelt der Gleichraumverbrennung der Ottomotoren, es erfolgt ein starker Druckanstieg im oberen Totpunkt.

Glühkopfmotoren werden fast immer als Zweitaktmotoren ausgeführt. Die Spülung und Aufladung des Zylinders mit Frischluft erfolgt meist so, daß die Kurbelwanne als Spülluftbehälter dient. Der abwärtsgehende Arbeitskolben verdichtet die Luft in der Kurbelwanne und steuert die Auspuff- und Spülschlitze, die er bei Hubende freigibt (Abb. 147).

Der Zylinder wird meist unter Verwendung der Querspülung von der unter geringem Überdruck stehenden Spülluft gereinigt und neu aufgeladen, so daß ein neues Arbeitsspiel beginnen kann. Der nach oben gehende Kolben erzeugt in der Kurbelwanne einen Unterdruck, so daß Luft durch die Klappen (K) nachströmen kann.

Die Temperatur des Glühkopfes wird im Betriebe durch Luft geregelt, der man über dem Glühkopf mehr oder weniger Zutritt gestattet. Vereinzelt wird auch im Innern des Zylinders mit dem Brennstoff zusammen Wasser eingespritzt (Bolinder).

Da die Spülung recht unvollkommen ist — es muß Verbrennungsraum und Hubraum durch die Luftmenge des Hubraumes gespült werden — so ordnet man oft einen Stufenkolben an oder benutzt eigene Luftpumpen. Hierdurch wird jedoch der Aufbau des Motors verwickelter.

Glühkopfmotoren haben geringeren mittleren Kolbendruck ($\approx 3{,}2$ kg/cm²). Der wirtschaftliche Wirkungsgrad ist etwa 0,24; der Brennstoffverbrauch ≈ 280 g/PSh. Die höchste Zylinderleistung beträgt 60 PS.

Die Motoren werden dort angewandt, wo bei kleinen Leistungen Wert auf sehr einfache Bedienung und Wartung gelegt wird. Sie haben gegenüber den Dieselmotoren den Vorteil des einfachsten Aufbaus und der Unempfindlichkeit im Betriebe. Gegenüber dem Ottomotor den des billigen und weit sicheren Betriebes, da er mit Treiböl arbeitet, anstatt mit dem teuren und feuergefährlichen Benzin oder Benzol.

C. Ottomotor

Der von dem Deutschen Otto 1878 auf der Weltausstellung in Paris zum erstenmal vorgeführte Gasmotor ist im Laufe der Jahrzehnte immer mehr vervollkommnet worden. Die meisten Ottomotoren verbrennen leichtflüssige Brennstoffe wie Benzin, Benzol und Alkohol, welche in den Vergasern vernebelt und dadurch für die Verbrennung aufbereitet werden.

Die Verbrennung geht bei einem solchen Motor sehr rasch vor sich, die Ladung verpufft sofort nach der Zündung. Während des rasch verlaufenden Verbrennungsvorganges wird der Kolben nur einen geringen Weg zurückgelegt haben. Es ändert sich also die Größe des Verbrennungsraumes nur wenig. Man bezeichnet darum Motoren dieser Art als Verpuffungs- oder Gleichraummotoren, womit jedoch nur die Art des Verbrennungsvorganges gekennzeichnet ist, während das Arbeitsverfahren das Vier- oder, wie später zu zeigen ist, auch das Zweitaktverfahren sein kann.

1. Das Viertaktarbeitsverfahren

Es soll das Viertaktarbeitsverfahren eines Ottomotors an Hand des Schaubildes betrachtet werden (Abb. 148). Während des 1. Taktes, des Einsaugehubes, wird im Zylinder ein gewisser Unterdruck herrschen. Die Einsaugelinie 1 ... 2 liegt im Schaubild demnach unter der atmosphärischen Linie. Die Höhe des Unterdruckes ist von den Widerständen abhängig, die der Brennstoffluftstrom beim Einsaugen in den Zylinder findet. Drosselt man den Querschnitt der Einsaugeleitung etwa durch eine Klappe oder verringert man den Durchgangsquerschnitt am Einsaugeventil durch Verringerung des Hubes, so wird die Einsaugelinie tiefer liegen, als wenn diese Strömungswiderstände nicht vorhanden wären. Je tiefer aber die Einsaugelinie liegt, um so geringer ist auch der Druck der Ladung im Zylinder und um so kleiner ist das Brennstoffluftgewicht, welches bei jeder Ladung in den Zylinder kommt. Von dem Gewicht der Ladung hängt jedoch die Arbeitsleistung ab. Es muß also die Leistung des Motors mit steigendem Unterdruck im Zylinder während des 1. Taktes sinken.

Während des 2. Taktes oder Hubes wird die Ladung im Zylinder bei geschlossenen Ventilen verdichtet. Im Schaubild kennzeichnet sich der Druckanstieg durch die stetig steigende Linie 2 ... 3. Diese Verdichtung der Ladung ist von großem Einfluß auf den Wirkungsgrad des Motors. Theoretisch wird mit steigender Verdichtung der Brennstoffverbrauch für jede Pferdestärke immer kleiner. In der Praxis jedoch ist der Verdichtung bei jedem Motor eine gewisse Grenze gesetzt. Je höher der Verdichtungsdruck wird, um so höher steigt auch der Zünddruck und damit die Belastung, die alle Motorbauteile zu tragen haben. Das Gewicht und der Preis des Motors müssen also mit steigendem Verdichtungsdruck wachsen, und bei größerer Bemessung der Triebwerksteile müssen auch die Lager- und sonstigen Reibungen zunehmen. Dadurch können die Vorteile des geringeren Brennstoffverbrauches bei zu hoch getriebener Verdichtung wieder aufgezehrt werden. Ein weiterer äußerst wichtiger Umstand bei der Bestimmung der Höhe des Verdichtungsdruckes ist die Art des zu verbrennenden Brennstoff-Luft-Gemisches. Im Ottomotor werden Brennstoff und Luft zusammen verdichtet und dabei erwärmt. Die Ladung wird beim Überschreiten eines gewissen Verdichtungsdruckes sich selbst entzünden, und diese ungewünschten frühen Zündungen können großen Schaden anrichten. Der anzuwendende Verdichtungsdruck muß sich also nach dem im Motor zu verbrennenden Brennstoff richten und nur so hoch bemessen sein, daß unerwünschte Selbstzündungen nicht eintreten können.

Allgemein kann man sagen, daß Brennstoffe, die wasserstoffreich sind, geringere Verdichtungshöhe vertragen als wasserstoffarme. Weiter werden Gemische, die sehr fett sind, also viel Brennstoff im Verhältnis zur Luft enthalten, früher zur Selbstzündung neigen als arme Gemische.

Bei den Ottomotoren kann man nur mit einem Verdichtungsenddruck von ≈ 10 at rechnen.

Im Totpunkt findet bei Beginn des 3. Taktes, des Arbeitshubes, die Zündung des Gemisches statt. Die Verbrennung soll als Verpuffung augenblicklich erfolgen. Die Drucklinie 3 ... 4 des Schaubildes steigt senkrecht an bis auf den Zünddruck, dessen Höhe von dem Verdichtungsdruck und der Brenngeschwindigkeit des Brennstoff-Luft-Gemisches abhängt. Der senkrechte Anstieg der Verpuffungslinie wird nicht erreicht, wenn das Gemisch sehr arm ist und träge verbrennt oder wenn die Kolbengeschwindigkeit des Motors ziemlich hoch und bei der Einstellung der Zündung darauf nicht Rücksicht genommen ist. Man muß dann die Zündung schon weit vor dem Totpunkt erfolgen lassen, um im Totpunkt die volle Entflammung zu erreichen. Anschließend an die Verbrennung erfolgt im 3. Takt von 4 ... 5 die Ausdehnung der verbrannten hochgespannten Gase, wobei der Kolben, Arbeit abgebend, abwärtsgetrieben wird. Während des 4. Taktes schiebt der Kolben die verbrannten Gase durch das geöffnete Auslaßventil ins Freie. Die Drucklinie 5 ... 1 des Schaubildes liegt über der atmosphärischen Linie und zeigt, welcher Überdruck aufzuwenden ist, um die Abgase gegen die Ventil- und Abgasleitungswiderstände aus dem Zylinder zu fördern. Im Schaubild wird die während eines Verbrennungsvorganges tatsächlich geleistete Arbeit durch die schräg gestrichelte Fläche gekennzeichnet, während die senkrecht gestrichelte die Arbeit zeigt, die zur Ladung und Reinigung des Zylinders aufzuwenden ist.

Das Steuerbild zeigt die Steuerung der Ventile und die Zündung bei einem Arbeitsgang, also zwei Umdrehungen des Motors.

Der Nocken öffnet das Einlaßventil, wenn die Kurbel 0 ... 10° vor dem oberen Totpunkt steht (Punkt 1). Man läßt das Einlaßventil früher öffnen, damit es schon ganz geöffnet ist, wenn der Kolben ansaugt. Außerdem entsteht durch das Ausströmen der Abgase ein kleiner Unterdruck im Zylinder, so daß hierdurch schon Gemisch in den Zylinder gelangen kann, auch wenn der Kolben noch nicht ansaugt. 10 ... 20° nach dem unteren Totpunkt gibt der Nocken das Einlaßventil frei, das nun

von einer Feder fest auf den Sitz gezogen wird. Das Ventil schließt nach dem Totpunkt (2), um den im Zylinder herrschenden Unterdruck und die Strömungsgeschwindigkeit des Brennstoff-Luft-Gemisches auszunutzen und dadurch eine gute Füllung zu erreichen. Im 2. Takt sind Ein- und Auslaßventil geschlossen, der aufwärtsgehende Kolben verdichtet das Brennstoff-Luft-Gemisch. 0 . . . 25° vor dem oberen Totpunkt erfolgt die Zündung (3). Je schneller der Motor läuft, um so früher muß gezündet werden, denn die Brenngeschwindigkeit des Brennstoffes bleibt stets dieselbe, während die Zeit für das Durchlaufen des Kurbelwinkels geringer wird. Der durch die Entzündung des Brennstoff-Luft-Gemisches entstandene hohe Druck treibt im 3. Takt den Kolben nach unten. Beim 4. Takt schiebt der Kolben die Abgase aus dem Zylinder, und zwar wird das Auslaßventil 30 . . . 40° vor dem unteren Totpunkt (5) geöffnet, damit sich der Abgasdruck mit dem atmosphärischen ausgleichen kann, um einen leichten Hubwechsel zu erreichen. Im Steuerbild zeigt die Linie 1 . . . 2 den Kurbelkreis beim Ansaugen, 2 . . . 3 bei der Verdichtung, 3 . . . 4 bei der Verbrennung, 4 . . . 5 beim Ausdehnen und von 5 . . . 6 beim Ausschieben der verbrannten Gase.

2. Das Zweitaktarbeitsverfahren

Beim Viertaktarbeitsverfahren ist gezeigt worden, daß zwei Hübe des Kolbens nur dazu dienen, das frische Gemisch anzusaugen und die verbrannten Gase auszuschieben, also reine Pumpenarbeit leisten. Es liegt nun theoretisch nichts im Wege, diese Arbeit außerhalb des Motorzylinders von einer besonderen Pumpe vornehmen zu lassen. Dann sind für den eigentlichen Arbeitsvorgang im Innern des Zylinders nur noch zwei Hübe, also eine Umdrehung der Kurbelwelle notwendig. Dieses Zweitaktarbeitsverfahren soll nun an Hand des Schaubildes (Abb. 149) näher beschrieben werden.

Steht der Kolben kurz vor dem oberen Totpunkt und ist das Brennstoff-Luft-Gemisch verdichtet, so wird im Zündzeitpunkt (Punkt 6) das Gemisch durch die Fremdzündung entzündet. Die Verbrennung erfolgt verpuffungsartig bei fast gleichbleibendem Raum (Linie 6 . . . 1), und die freiwerdenden Kräfte treiben den Kolben arbeitsleistend nach unten bei fallendem Druck (Linie 1 . . . 2). In Punkt 2 öffnet der Kolben die Auslaßschlitze. Der Druck fällt schnell ab. Beim weiteren Abwärtsgang des Kolbens werden die Spülschlitze (3) freigegeben. Das durch eine besondere Pumpe oder von der unteren Kolbenseite vorverdichtete Brennstoff-Luft-Gemisch kann in den Zylinder einströmen, die Restgase ausspülen und den Zylinder füllen. Auf dem Kolben befindet sich ein Ansatz, oder die Spülschlitze sind so angebracht, daß dem einströmenden Brennstoff-Luft-Gemisch ein bestimmter Weg vorgeschrieben wird, um die Abgase restlos aus dem Zylinder zu entfernen. Nach dem Hubwechsel, beim Aufwärtsgang des Kolbens, werden zuerst die Spülschlitze geschlossen, die Füllung ist beendet (Punkt 4). Da aber die Auslaßschlitze noch geöffnet sind, kann bis zum Punkt 5 das Brennstoff-Luft-Gemisch noch entweichen. Daraus ergibt sich ein höherer Brennstoffverbrauch des Zweitakt-Ottomotors. Nachdem der Kolben die Auslaßschlitze geschlossen hat, wird das Gemisch verdichtet, und der Vorgang wiederholt sich.

Das Steuerschaubild zeigt den Weg der Kurbel bei der Verbrennung (Linie 6 . . . 1), der Ausdehnung (1 . . . 2), Auslassen der verbrannten Gase (2 . . . 5), Spülen und Laden (3 . . . 4), Verdichten (5 . . . 6).

Während zweier Takte oder Hübe oder einer Umdrehung der Kurbelwelle ist ein in sich geschlossener Arbeitsvorgang vollendet worden.

3. Vergaser

Allgemeines

Alle heute noch gebräuchlichen Vergaser sind Spritzdüsenvergaser. Sie arbeiten nach folgendem Grundsatz: Beim Saugehub des Motors wird die Verbrennungsluft mit großer Geschwindigkeit an einer Brennstoffdüse, aus der flüssiger Brennstoff in gleichmäßigem Strahle austritt, vorbeigesaugt. Im Luftstrom wird der Brennstoff zerrissen, fein verteilt, verdampft und mit der Verbrennungsluft innig gemischt. Die zur Verdampfung des Brennstoffes nötige Wärme wird der Luft, den Metallteilen des Vergasers und der Gemischleitung entzogen.

Damit bei einem einfachen Vergaser der Luftstrom die zur Zerstäubung des Brennstoffes nötige Geschwindigkeit erlangt, verengt man den Querschnitt des Lufteinsaugerohres in der Höhe der Brennstoffdüsenmündung erheblich. Diese Einschnürung bezeichnet man als Luftdüse und den Raum zwischen ihr und der Drosselklappe, die zur Gemischmengenregelung und damit zur Regelung der Motorleistung dient, nennt man den Mischraum des Vergasers. Damit der Brennstoff gleichmäßig der Düse zufließt, speist man sie aus einem Gefäß, in dem er durch eine Schwimmvorrichtung oder durch einen Überlauf stets in gleicher Höhe gehalten wird. Auf diese Weise macht man sich unabhängig von dem Druck in der Brennstoffzuleitung und von der Spiegelhöhe im Brennstoffvorratsgefäß. Benutzt man zur Regelung des Zuflusses einen Schwimmer, so wird durch ihn ein Nadelventil bewegt, das beim Sinken des Brennstoffspiegels im Schwimmergehäuse geöffnet und beim Steigen geschlossen wird. Man kann jedoch auch durch eine Brennstoffpumpe den Brennstoff in das Gefäß fördern lassen. Dann bringt man in der gewünschten Spiegelhöhe einen Überlauf an. Da die Brennstoffpumpe mehr fördert

als für den Betrieb nötig ist, fließt eine gewisse Menge Brennstoff dauernd in den Vorratsbehälter zurück, und man erreicht einen stets gleichbleibenden Stand in dem Gefäß. Letztere Anordnung wird heute meist bei Flugmotoren benutzt, da die Schwimmer bei Schräglage des Flugzeuges zum Klemmen neigen.

Der einfache Vergaser genügt jedoch nur dann allen Ansprüchen, wenn die Belastung und die Drehzahl des Motors gleichbleiben. Bei allen Fahrzeugmotoren ändern sich jedoch Belastung und die Drehzahl in weiten Grenzen. Ein einfacher Vergaser würde ein ungleichmäßiges Gemisch liefern und wenig wirtschaftlich sein.

Bei langsamen Umdrehungen ist der Unterdruck im Lufttrichter an der Brennstoffdüse nur gering, es wird nur sehr wenig oder gar kein Brennstoff aus der Düse austreten und das Gemisch wird so arm, daß es nicht mehr zündfähig ist.

Bei hohen Umdrehungen ist der Unterdruck zu groß, das Gemisch wird überfettet, der Motor qualmt und das Gemisch zündet nicht mehr, wenn der Brennstoffgehalt im Verhältnis zur Luft zu hoch wird.

Von einem brauchbaren Vergaser für Fahrzeugmotoren muß man fordern, daß er bei allen Belastungszuständen und Drehzahlen ein gleichmäßiges gut brennbares Gemisch liefert, ohne Brennstoff zu verschwenden. Außerdem muß der Motor gut und leicht anzulassen sein und im Leerlauf mit geringen Drehzahlen arbeiten. Alle modernen Vergaser entsprechen den hier aufgestellten Anforderungen und unterscheiden sich hauptsächlich nur durch die Mittel, die zur Erreichung dieses Endzweckes angewandt werden.

Diese Mittel bestehen darin, daß man:

a) mit der Leistungsänderung die Querschnitte der Luft- und Brennstoffdüse ändert,
b) oder den mit steigender Leistung steigenden Unterdruck in der Luftdüse durch Zuführung von Nebenluft in den Gemischstrom herabsetzt,
c) oder dem Brennstoff selbst mit steigender Drehzahl und Belastung Luft zuführt und diese Luft zum Abbremsen der Brennstoffzufuhr heranzieht.

Die heute bei Fahrzeugmotoren am meisten vertretenen Vergaser gehören der Gruppe der Bremsluftvergaser an. Bei ihnen wird die Luftdüse für alle Belastungen unverändert beibehalten und dem Brennstoff bei steigender Drehzahl mehr und mehr Luft zugemischt und so die zu große Anreicherung verhindert. Es wird also ein Luftstrom zur Regelung des Brennstoffausflusses herangezogen.

Eine besondere Einrichtung ist die Leerlaufeinrichtung. Wird der Motor entlastet und durch Schließen der Regeldrossel seine Drehzahl herabgesetzt, so verringert sich die Geschwindigkeit der Luft an der Brennstoffdüsenmündung. Hierdurch wird die Güte der Zerstäubung stark beeinträchtigt und ein guter Leerlauf bei geringer Drehzahl ist für längere Zeit nicht zu erreichen. Um das Arbeiten des Motors bei geringer Leistung oder beim Leerlauf sicherzustellen, wird die hohe Luftgeschwindigkeit, die bei stark gedrosseltem Motor zwischen Regeldrossel und Gemischrohrwand herrscht, zur Zerstäubung von Brennstoff in einer besonderen Düse (Leerlaufdüse) herangezogen. Von der Brennstoffzuführung zur Düse zweigt sich eine besondere Leitung ab, die in Höhe der Regeldrossel in das Gemischrohr mündet und mit einer düsenartigen Öffnung abschließt. Bei geöffneter Drosselklappe genügt die Saugewirkung an der Mündung nicht, um den Brennstoff hochzusaugen. Es ist dann nur die Hauptdüse in Tätigkeit. Beim Schließen der Drosselklappe wird die Luftgeschwindigkeit und damit die Saugewirkung an der Leerlaufdüse verstärkt, dort Brennstoff angesaugt und fein zerstäubt. Hierbei tritt die Hauptdüse außer Tätigkeit.

Außerordentlich gute Dienste leistet die Leerlaufeinrichtung beim Andrehen des Motors von Hand. Die Drosselklappe wird beim Andrehen bis auf einen schmalen Spalt geschlossen. Trotz der geringen Kolbengeschwindigkeit wird durch die hohe Luftgeschwindigkeit an der Drosselklappe ein zündfähiges Gemisch entstehen, das den Motor zum Laufen bringt.

Beschreibung gebräuchlicher Vergaser

a) Der Zenith-Vergaser (Abb. 150)

Der Zenith-Vergaser arbeitet mit zwei Düsen, der Hauptdüse und der Ausgleich- oder Zusatzdüse, die den Brennstoffzutritt zum Mantelrohr regelt, das zentrisch zur Hauptdüse liegt. Der Brennstoffaustritt aus der Hauptdüse ist von dem Unterdruck in der Luftdüse abhängig. Die Düse erhält ihren Brennstoff durch einen Kanal, der mit dem Schwimmergehäuse verbunden ist. Die Düse ist durch eine Verschraubung von unten herauszunehmen und kann ausgewechselt werden.

Das Mantelrohr erhält über die Zusatzdüse den Brennstoff zugemessen. Auch diese Düse kann von unten ausgewechselt werden. Der Raum über der Zusatzdüse ist mit der Außenluft verbunden, die als Zusatzluft unterhalb der Leerlaufdüse eintreten kann. Der Schwimmer regelt den Brennstoffstand in der Hauptdüse, im Mantelrohr und in der Zusatzkammer so, daß bei Ruhezustand der Flüssigkeitsspiegel ca. 1 mm unter der Austrittskante der Hauptdüse steht. Die Arbeitsweise des Vergasers ist folgende: Bei Leerlauf ist die Drosselklappe fast geschlossen. In dem schmalen Spalt zwischen Klappe und Gemischrohrwand entsteht ein hoher Unterdruck, durch den der Brennstoff durch

das Leerlaufrohr aus der Leerlaufdüse angesaugt und mit Luft gemischt wird. Die Haupt- und Manteldüsen sind in diesem Zustande außer Tätigkeit getreten, weil an diesen Düsen kein ausreichender Unterdruck für das Ansaugen von Brennstoff vorhanden ist.

Die Leerlaufeinrichtung ist als Ganzes herausnehmbar und besteht aus zwei ineinander gesteckten Rohren. Das Leerlaufrohr besitzt einen Innenkegel und die Leerlaufdüse einen Außenkegel, die mit geringem Zwischenraum übereinander stehen. An dieser Stelle wird die Mischung von Luft und Brennstoff vorgenommen, der Abstand beider Kegel bestimmt das Mischungsverhältnis für den Leerlauf. Springt der Motor nicht an oder bleibt er nach wenigen Umdrehungen stehen, so müssen die Kegel der Leerlaufdüse genähert werden, damit mehr Brennstoff mitgerissen wird.

Bei Belastung wird die Drosselklappe geöffnet, die Leerlaufeinrichtung abgeschaltet und die Haupt- und Manteldüsen treten in Tätigkeit. Die Hauptdüse muß so bemessen sein, daß sie nicht alleine den nötigen Brennstoff bei Belastung zuführen kann, sondern es muß auch aus dem Mantelrohr über die Zusatzdüse Brennstoff austreten. Bei großer Saugewirkung an der Luftdüse würde nun das Gemisch zu fett werden, wenn nicht der Brennstoffzutritt durch die Zusatzdüse gedrosselt würde. Bei stärkerer Saugewirkung wird nämlich die Zusatzkammer leergesaugt, und es tritt Zusatzluft in die Kammer und in das Mantelrohr ein, so daß nunmehr aus der Hauptdüse reiner Brennstoff, aus dem Mantelrohr Brennstoff-Luftgemisch austritt (Abb. 150).

Man bezeichnet alle derartig arbeitenden Vergaser als Bremsluftvergaser.

Die Hauptspritzdüse muß so bemessen sein, daß der Motor die Höchstleistung erreicht; wenn dabei der Auspuff rußt, so muß die Zusatzdüse durch eine kleinere ersetzt werden. Diese Düse ist zu groß, wenn der Motor sich beim Aufnehmen der Belastung verschluckt oder ruckartig arbeitet. Bleibt der Motor bei plötzlicher Belastung stehen, so ist die Zusatzdüse zu klein. Die Düsen sind mit Zahlen (z. B. 70, 80, 90 usw.) versehen, welche die Bohrungen in 1/100 mm angeben. Die Maße der Luftdüsen werden in mm angegeben.

b) Der Pallas-Vergaser (Abb. 151)

Beim Pallas-Vergaser ist der ringförmige Schwimmer durch ein Scharnier drehbar gelagert. Er betätigt das Nadelventil, durch das der Brennstoffzufluß geregelt wird. Ein Filter hält im Brennstoff etwa vorhandene Unreinigkeiten zurück. Die Spritzdüse besteht aus dem äußeren Düsenstock mit der Brennstoffdüse und den Ausflußbohrungen R, die im engsten Teil der Luftdüse liegen. In diesem Düsenstock liegt das Tauchrohr, das oben durch die Luftdüse mit der Außenluft in Verbindung steht. Ein Filter verhindert hier das Eindringen von Unreinigkeiten. Das untere Ende des Tauchrohres ist verschlossen durch das Tauchrohrvierkant. Einige seitliche Bohrungen stellen die Verbindung zwischen Tauchrohr und Düsenstock her. Die Leerlaufeinrichtung besteht aus der Leerlaufdüse und einem Leerlaufkanal, der zu einer Bohrung im Düsenstock führt.

Wirkungsweise:

Der Brennstoff im Düsenstock und Tauchrohr wird bei geringer Belastung des Motors gleich hoch und ein wenig unter den Bohrungen R stehen. Öffnet man die Drosselklappe und steigert damit die Drehzahl des Motors, so werden die Flüssigkeitsoberflächen im Düsenstock und Tauchrohr unter verschiedenen Drucken stehen und der Atmosphärendruck wird den Brennstoff aus dem Tauchrohr verdrängen. Durch die Öffnungen im Tauchrohr tritt über die Korrektur-Luftdüse nun Nebenluft in den ausströmenden Brennstoff und stellt dadurch das richtige Mischungsverhältnis für die betreffende Belastung des Motors her. Die Luft übt also auch hier eine ausgleichende Wirkung gegen eine zu starke Anreicherung des Gemisches aus.

Bei Leerlauf und beim Anlassen wird die Drosselklappe fast ganz geschlossen. Damit wird die Hauptdüse R außer Tätigkeit gesetzt, da dort die Saugewirkung aufhört. In dem engen Spalt an der Mündung der Leerlaufdüsenschraube entsteht jetzt ein energischer Saugzug, der den Brennstoff im Düsenstock durch den Kanal hochsaugt, fein zerstäubt und mit Luft gemischt in die Gemischleitung treten läßt. Durch die Bohrungen R tritt kein Brennstoff mehr aus, sondern es wird dort Luft eingesaugt und dem Brennstoff für die Verbrennung beigemischt. Beim Öffnen der Drosselklappe schaltet sich die Leerlaufdüse aus und die Hauptdüse tritt von selbst in Tätigkeit.

c) Betriebserfahrungen an Vergasern

Die Vergasung von leichten Brennstoffen wie Benzin und Benzol ist im allgemeinen ohne weiteres möglich. Die notwendige Verdampfungswärme wird von dem Motor geliefert. Ein guter Vergaser mit hoher Strömungsgeschwindigkeit des Gemisches sichert einwandfreien Betrieb auch bei kalter Verbrennungsluft und ermöglicht beste Leistungsausnutzung. Im Winter müssen die Kühlräume der Motoren, wenn Benzol als Brennstoff verwendet wird, beim erstmaligen Anlassen mit warmem Wasser aufgefüllt werden, damit das Niederschlagen des Brennstoffes an den kalten Wandungen im Zylinder vermieden wird.

Beim Aussetzen der Zündkerzen muß der Motor sofort abgestellt werden, weil der unverbrannte Brennstoff nicht beim Ausschube aus dem Zylinder herausbefördert wird, sondern sich an den Zylinderwandungen niederschlägt, die schützende Motorenölschicht wegschwemmt, die Gleitflächen rauh

macht und zum Fressen der Kolben führt. Außerdem verdünnt niedergeschlagener Brennstoff, der sich mit dem Motorenöl vermischt, dieses so weit, daß das Öl oft schon aus den Kurbellagern herausgepreßt wird und nicht mehr bis zu den Kolbenbolzenlagern gelangt. Heißlaufen dieser Lager mit nachfolgenden Zerstörungen im Triebwerk ist die Folge.

Größte Aufmerksamkeit ist auf gutes Dichthalten der Leitungen zwischen Vergaser und Zylinder zu verwenden. Die Verdünnung des Gemisches durch falsche Beiluft setzt die Motorleistung herab oder führt zum Stehenbleiben des Motors. Das Andrehen wird in Frage gestellt, und Vergaserbrände können die Folge von Undichtigkeiten sein, wenn infolge der trägen Verbrennung des dünnen Gemisches Flammenrückschläge beim Öffnen der Einlaßventile eintreten. Undichte Leitungen machen sich gewöhnlich durch Knallen des Motors bemerkbar.

4. Die Zündeinrichtungen

Die im Brennstoffluftgemisch enthaltene Wärmeenergie ist zunächst noch chemisch gebunden, sie wird erst mit der Verbrennung des Gemisches frei. Man bedarf daher bei jedem Motor, der ein Brennstoffluftgemisch ansaugt und verdichtet, einer besonderen Vorrichtung, die rechtzeitig die Entzündung des Gemisches bewirkt.

Als Motorenzündeinrichtung hat nur die elektrische Hochspannungszündung Bedeutung erlangt.

Bei der Hochspannungszündung wird eine Funkenstrecke von dem Zündstrom in Gestalt einer Funkenreihe überbrückt.

Um aber eine Funkenstrecke von nur 0,5 mm Abstand bei atmosphärischem Luftdruck durchschlagen zu können, muß schon eine Spannung von über 1000 Volt aufgewendet werden. Infolge der Verdichtung im Innern des Zylinders steigt der Widerstand noch beträchtlich. Es müssen also für die Kerzenzündung Stromquellen gebaut werden, die Spannungen von mehreren tausend Volt zu liefern imstande sind.

Nach der Bauart unterscheidet man zwei Arten der Hochspannungskerzenzündung, die Batterie- und die Magnetzündung.

a) Die Batteriezündung

Bei der Batteriezündung wird einem Stromspeicher ein niedrig gespannter Strom entnommen und durch eine Spule, die über einen Eisenkern gewickelt ist, geleitet. Über dem Eisenkern liegt eine zweite Spule aus sehr vielen dünnen Windungen, die mit der Zündkerze in Verbindung steht. Bei Unterbrechung des Stromes in der ersten, der Primärspule, wird in der zweiten, der sekundären Spule, ein hochgespannter Strom erzeugt, der imstande ist, die Funkenstrecke an der Kerze zu überbrücken.

Jede stromdurchflossene Spule ruft ein Feld magnetischer Kraftlinien hervor. Die Kraftlinien treten an einem Spulenende aus, umgeben die Spule und treten am anderen Ende wieder ein. Bringt man einen Eisenstab in die Spule, so wird der magnetische Kraftfluß bedeutend verstärkt. Schaltet man also bei der Zündeinrichtung den Batteriestrom ein, so wird im Eisenkern der Spule ein Kraftfeld entstehen, das bis zu einer gewissen Größe, der Sättigung, anwachsen wird. Nach den Gesetzen der Induktion wird nun in der sekundären Spule, die ebenfalls um den Eisenkern gewickelt ist, eine elektromotorische Kraft erzeugt. Ein Stromfluß kommt jedoch in ihr nicht zustande, weil die Spannung nicht hoch genug ansteigen kann, um die Funkenstrecke zu überbrücken.

Wird jedoch der Primärstrom unterbrochen, so erfolgt ein äußerst rascher Zusammenbruch des Kraftfeldes, und wieder wird in der Sekundärspule eine elektro-motorische Kraft erzeugt, diesmal aber von solcher Größe, daß der Luftraum der Funkenstrecke überbrückt wird und ein Stromfluß entsteht, der einen Lichtbogen hervorruft. Dieser wird zur Zündung des Gemisches ausgenutzt. Es entsteht ein Lichtbogen von längerer Dauer und nicht nur ein Funke, weil die Luftstrecke nach dem Durchschlagen mit Hilfe der hohen Spannung leitend wird und der Stromfluß auch bei sinkender Spannung weiter vor sich geht.

In Abb. 152 ist die Batteriezündung schematisch gezeichnet. Je ein Pol der Batterie, beider Spulen und der Kerze ist mit der Masse des Motors verbunden, um immer nur eine Leitung nötig zu haben. Der Unterbrecher wird vom Motor angetrieben, damit die Unterbrechung, die den Zündfunken hervorruft, zu einer ganz bestimmten Zeit erfolgt. Der Zeitpunkt läßt sich verändern, um die Zündung der Drehzahl und der Motorenbelastung anpassen zu können.

b) Magnetzündung

Bei der Magnetzündung wird der Primärstrom durch einen Anker, der in einem Magnetfeld umläuft, erzeugt.

Die Bauart einer solchen Magnetzündung geht aus der schematischen Darstellung Abb. 153 und 154 hervor.

Zwischen den Polschuhen von mehreren hufeisenförmigen Stahlmagneten dreht sich ein doppel-T-förmiger Anker, der aus einer großen Anzahl von dünnen Eisenblechen besteht, die zur Herabsetzung der Wirbelstromverluste durch Papier voneinander isoliert sind. Auf dem Anker liegen über-

einander die beiden Wicklungen, die hintereinandergeschaltet sind. Die Spulen sind mit je einem Ende verbunden, und die Verbindungsstelle ist geerdet. Im primären Stromkreise liegt ein Unterbrecher, der meist mit der Ankerwelle umläuft. Parallel zu ihm ist ein Kondensator geschaltet. Im sekundären Stromkreise liegen der Zündstromverteiler und die Kerzen.

Dreht sich der Anker im magnetischen Felde, so ändern sich in ihm sowohl die Kraftliniendichte als auch die Ankerpole. Durch die Änderung der Kraftliniendichte wird in der primären Wicklung eine elektromotorische Kraft erzeugt, die einen Stromfluß in dem primären Stromkreise, der über den Unterbrecher kurzgeschlossen ist, zur Folge hat. Der Strom ist infolge der Änderung der Pole ein Wechselstrom von etwa 20 Volt Spannung bei der Höchstdrehzahl. Der primäre Strom ruft im Ankereisen das magnetische Ankerfeld hervor, das in Größe und Richtung mit dem Ankerstrome wechselt. Nach den Gesetzen der Induktion hat der primäre Strom und damit auch das Ankerfeld seinen Höchstwert erreicht, wenn der Anker mit einer Kante gerade einen Magnetpol verläßt und mit der anderen den zweiten Pol erreicht. Bei den normalen Zündapparaten steht dann der Anker in der in Abb. 153 gezeichneten Stellung. Unterbricht man in diesem Augenblick den Stromkreis, so wird der primäre Strom sofort von seinem Höchstwert auf Null herabsinken. Damit wird aber auch das Ankerfeld augenblicklich verschwinden. Durch dieses plötzliche Verschwinden des Ankerfeldes wird in der sekundären Wicklung eine der hohen Windungszahl entsprechend starke elektromotorische Kraft erzeugt, die an den Polen der Zündkerze einen so großen Spannungsunterschied hervorruft, daß die Luftstrecke durchschlagen und damit ein Strom von etwa 30 Milliampere zum Fließen gebracht werden kann. Die Spannung kann auf einen Höchstwert von etwa 12 000 . . . 25 000 Volt geschätzt werden.

Bei der sehr kurzen Zeit, während der der Unterbrecher geöffnet ist, und bei dem geringen Abstande der Unterbrecherkontakte kann von einer schnellen und sicheren Unterbrechung des primären Stromes nur dann gesprochen werden, wenn jeder Öffnungsfunke an den Kontakten vermieden wird. Man schaltet zu diesem Zweck einen Kondensator parallel zum Unterbrecher, um ein Aufheben des Selbstinduktionsstromes, der die Ursache des Öffnungsfunkens ist, in der primären Wicklung zu erreichen.

Wie aus der Abb. 153 hervorgeht, hängt der Augenblick der Zündfunkenbildung mit der Lage des Ankers im Magnetfelde zusammen. Andererseits muß die Zündung im Motor bei einer bestimmten Kolbenstellung erfolgen. Hieraus geht hervor, daß die Zündmaschine vom Motor so angetrieben werden muß, daß die Unterbrechung bei richtiger Ankerstellung und richtiger Stellung desjenigen Kolbens erfolgt, der gerade seinen Arbeitshub, den die Zündung einleitet, beginnen soll. Bei den Zündmaschinen erhält man zwei Unterbrechungen und somit zwei Zündungen pro Ankerumdrehung. Da bei einem Vierzylinder-Viertaktmotor für zwei Umdrehungen der Kurbelwelle vier oder für jede Umdrehung zwei Zündungen gebraucht werden, muß man den Anker des Magneten mit der Umlaufzahl der Kurbelwelle antreiben.

Zur Erzielung der größtmöglichen Leistung darf man in einem Motor die Zündung nicht genau im Totpunkt vornehmen. Das Gemisch verbrennt nicht zeitlos, sondern braucht eine erhebliche Zeit zur vollständigen Verbrennung. Benzindampfluft hat zum Beispiel eine Brenngeschwindigkeit von etwa 2,6 m/s. Soll also im Totpunkt die Entflammung des Gemisches vollständig sein, so muß die Zündung schon vor dem Totpunkt erfolgen. Die Größe dieser Frühzündungen ist abhängig von der Art des Brennstoffgemisches und von der Drehzahl des Motors.

Bei sonst gleichem Gemisch wird mit steigender Drehzahl die Frühzündung größer werden müssen, da die Zeit, die für die Entflammung zur Verfügung steht, kleiner wird.

Allgemein kann man sagen, daß die schnellaufenden Ottomotoren Frühzündungen von 15° . . . 35°, bezogen auf die Kurbeldrehung, haben müssen. Da beim Anlassen des Motors eine Spätzündung von etwa 3° . . . 5° eingestellt werden muß, um das Rückschlagen zu vermeiden, muß man also in der Lage sein, den Zündzeitpunkt um etwa 40° Kurbeldrehwinkel verstellen zu können.

Die Zündmomentverstellung wird in der Weise vorgenommen, daß die Nocken, die den Unterbrecher betätigen, verdreht werden. Da aber der Unterbrecher und der Anker starr verbunden sind, folgt hieraus, daß die Unterbrechung bei großer Frühzündung erfolgt, ehe der Primärstrom und damit das Ankerfeld ihren Höchstwert erreicht haben. Damit fällt auch die Zündspannung geringer aus, und die Zündmaschine wird mit steigender Drehzahl an Wirksamkeit verlieren. Man hat für Motoren hoher Drehzahl, die mit großer Vorzündung arbeiten, Sondereinrichtungen gebaut, die entweder eine Verzerrung des Magnetfeldes zur Folge haben und den Höchstwert der Spannung in Abhängigkeit von der Zündmomentverstellung erreichen lassen, oder aber man verdreht mit steigender Drehzahl den Antrieb des Ankers, so daß die Zündung bei immer gleicher Stellung des Ankers im Magnetfelde erreicht wird.

c) Sondereinrichtungen an Zündmaschinen

Schnellaufende Motoren, die innerhalb weiter Grenzen in ihrer Drehzahl regelbar sein müssen, verlangen auch eine weitgehende Verstellbarkeit ihres Zündzeitpunktes.

Bosch ordnet bei seiner Type ZH 6 (Abb. 156) zwei Metallsegmente zwischen Anker und Polschuhen an, die mit dem Unterbrechergehäuse verbunden sind und mit der Zündmomentverstellung

dessen Verdrehung mitmachen. Sie sollen das magnetische Feld so verschleppen, daß bei der Unterbrechung in jeder einstellbaren Lage der Primärstrom seinen Höchstwert hat.

Für vielzylindrige, schnellaufende Motoren müßte man den Zündmagneten, die nur zwei Zündungen pro Ankerumdrehung ermöglichen, eine sehr große Umlaufsgeschwindigkeit geben, wodurch Betriebsschwierigkeiten entstehen. Für diese Zwecke wird eine besondere Zündmaschine gebaut, bei welcher der Anker feststeht und die Änderung des magnetischen Kraftflusses durch einen Läufer hervorgerufen wird. Aus der Abb. 155 geht hervor, daß der Kraftfluß im feststehenden Anker bei einer einmaligen Umdrehung der beweglichen Segmente viermal seine Richtung ändert. Man hat also, da der Kraftfluß viermal seinen Höchstwert erreicht, auch die Möglichkeit, viermal den Strom zu unterbrechen und vier Zündungen bei einer Umdrehung zu erzielen. Gegenüber anderen Zündapparaten kann man darum die Umlaufzahl auf die Hälfte herabsetzen.

Die Bosch-Magnetzünder der GF-Klasse (Abb. 157) haben einen besonderen Aufbau des Magnetfeldes. Anker sowie Magnet sind feststehend und tragen Verlängerungen (Polschuhe), die um 90° zueinander versetzt sind. Zwischen diesen 4 Polschuhen dreht sich der Läufer. Es ändert sich bei einer Umdrehung also viermal die Richtung des Kraftflusses, und in der Ankerwicklung entstehen bei viermaliger Unterbrechung des Primärstromes 4 Zündfunken (s. Abb.). Diese Bauart ermöglicht eine niedrige Übersetzung zwischen Motor- und Zünderwelle und eignet sich daher für Motoren mit vielen Zylindern.

Zur Überleitung des Stromes von der Abnehmerwelle zum Verteiler wird ein Metallbogen benutzt, von dem der Strom zu den Bögen des Verteilers über einen geringen Luftspalt überspringt. Hierdurch wird ein Verschmutzen durch Kohlenstaub verhindert, wie es bei der Anordnung der Schleifkohle eintrat.

d) Die Zündkerzen (Abb. 158)

Die Zündkerzen für die Hochspannungszündung bestehen aus einem stählernen Körper, der in einer Isoliermasse die Mittelelektrode mit Kabelanschluß trägt. Diese Mittelelektrode wird von zwei bis drei Körperelektroden umgeben, die über den Zündkerzenkörpern mit der Motormasse leitend verbunden sind.

An eine Zündkerze werden eine Reihe von Anforderungen gestellt:

1. der Zündfunke darf nur an den Elektroden überspringen. Er darf also keinen anderen Weg zur Masse finden,
2. die Kerze muß den im Motor auftretenden Drucken standhalten und im kalten und heißen Zustande gasdicht sein,
3. der Isolierkörper soll unempfindlich gegen Temperaturschwankungen sein,
4. die Kerze muß schnell auf Selbstreinigungstemperatur kommen, darf aber im Motor nicht glühend werden.

Das Verschmutzen einer Kerze kann vermieden werden, wenn der Fuß des Isolierkörpers und die Elektrode so heiß werden, daß Ruß und Öl sofort verbrennen. Wird diese Temperatur wesentlich überschritten, dann entzündet sich das Gemisch an den glühenden Elektroden. Der Wärmewert ist an jeder Kerze durch eine Zahl ausgedrückt (Glühzündungszahl), die den Grad der Empfindlichkeit angibt. Je größer diese Zahl ist, desto höher kann die Temperatur werden, ohne daß Glühzündung eintritt, aber desto leichter verschmutzt diese Kerze im niedrig verdichteten Motor.

Nach längerem Gebrauch kann man an der Färbung des Isolierkörpers und der Elektrode erkennen, ob die richtige Kerze für den Motor gewählt ist. Die hellbraune Färbung zeigt an, daß die richtige Kerze gewählt ist. Ist die Farbe schwarz oder ölig, dann bleibt die Kerze zu kalt, d. h. sie zündet nicht. Ist die Färbung weiß oder blau, dann wird sie zu heiß und neigt zu Glühzündungen.

Der Form nach unterscheidet man:

1. Kerzen mit langem Gewinde und kurzem Schaft für langen Zündkanal,
2. Kerzen mit kurzem Gewinde und langem Schaft für vertieften Kerzensitz,
3. Kerzen, bei denen Gewinde und Schaft gleich lang sind.

Bezeichnungen der Boschkerzen

1. M nicht zerlegbare Kerze
   DM zerlegbare Kerze } metrische Gewinde
2. Z nicht zerlegbare Kerze
   DZ zerlegbare Kerze } Zollgewinde

M 25/1
DM 45/2
Z 90/4
DZ 145/2

Die Zahl vor dem Schrägstrich ist die Glühzündungszahl. Sie gibt Auskunft über das Verhalten der Kerze im Zylinder. Die Zahl hinter dem Schrägstrich gibt die Abmessungen der Kerze an (Ausführungskennzahl).

Bei der Wahl einer Kerze ist folgendes zu beachten:

Bei Glühzündungen eine andere Kerze gleicher Abmessung mit der nächst höheren Glühzündungszahl nehmen.

Bei Verschmutzen eine andere Kerze gleicher Abmessung mit der nächst niedrigeren Glühzündungszahl nehmen.

Die verschiedenen Glühzündungseigenschaften werden durch einen mehr oder weniger hohen Zwischenraum zwischen Mittelelektrode und Kerzenkörper erreicht.

Anhang

Allgemeintechnische Grundbegriffe

Druck: Wenn ein Quadratzentimeter (cm^2) mit einem Kilogramm (kg) belastet wird, so spricht man von einem D r u c k oder einer Spannung von 1 kg/cm^2.

$$1\ kg/cm^2 = 1\ at = 1\ \text{technische Atmosphäre}$$
$$1\ at = 735{,}6\ mm\ \text{Quecksilbersäule (QS)} =$$
$$10\ m = 10\,000\ mm\ \text{Wassersäule (WS)}$$

Unsere gebräuchlichen Meßinstrumente, wie Druckmesser und Unterdruckmesser, messen den Überdruck oder Unterdruck der eingeschlossenen Gase usw. gegenüber dem jeweilig herrschenden Luftdruck. Dieser stimmt also nicht mit dem Druck von 1 at überein; er richtet sich vielmehr nach dem jeweiligen Barometerstand.

Bei technischen Messungen rechnet man den Druck sowohl von der atmosphärischen Linie an aufwärts in atü (Überdruck), abwärts in atu (Unterdruck), als auch von der absoluten Nullinie in ata (abs. Druck).

Die Druckverhältnisse und ihre Bezeichnungen sind aus dem Schaubild (Abb. 159) ersichtlich.

Gewicht: Das Gramm (g) ist das Gewicht von einem Kubikzentimeter (cm^3) Wasser bei 4° C.

$$1000\ g = 1\ kg \triangleq 1000\ cm^3 = 1\ dm^3 = 1\ l\ \text{Wasser}.$$
$$1000\ kg = 1\ t\ \text{(Tonne)}.$$

Die Wichte (γ) eines Körpers ist das Verhältnis des Gewichtes zu seinem Volumen

$$\gamma = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Volumen}} = \frac{G}{V}$$

B e i s p i e l : Ein Eisenwürfel mit der Kantenlänge von 5 cm hat ein Volumen von $5 \cdot 5 \cdot 5 = 125\ cm^3$. Er wiegt 975 g.

Die Wichte wird damit

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{975}{125} = 7{,}8\ \frac{g}{cm^3}$$

Tabellen einiger Wichten in kg/dm^3

Flüssige Stoffe		Feste Stoffe	
Wasser	1,0	Platin	21,5
Quecksilber	13,6	Kupfer	8,9
Schmieröl	≈ 0,9	Flußstahl	7,8
Treiböl	≈ 0,85	Aluminium	2,7
Benzin	≈ 0,7	Holz	0,4 . . . 1,0
Benzol	≈ 0,9		

Temperatur, Wärme

Die häufigst verwendeten Meßgeräte zur Bestimmung der Temperatur sind Quecksilberthermometer. Sie finden Verwendung für Temperaturen von $-30°$ bis $+500°$ C (Schmelzpunkt des Glases bei 600° C). Thermometer aus Quarzglas gestatten Temperaturen bis 750° C abzulesen. Für tiefe Temperaturen bis $-200°$ C werden Pentan-Thermometer benutzt.

Alle genannten Geräte sind in ° Celsius (° C) geeicht. Die Ableseskala wurde vom Schmelzpunkt des Eises (0°) bis zum Siedepunkt des Wassers bei normalem Barometerstand (100°) in einhundert gleiche Teile eingeteilt.

Thermoelektrische Meßgeräte

Pyrometer verwendet man für Temperaturen bis 1600° C. Sie haben den Vorteil, Ablesungen an beliebigem Ort und fern der Meßstelle durchzuführen. Dem Verwendungszweck entsprechend können Pyrometer als Stabthermometer von mehreren Metern Länge ausgeführt werden. Der wirksame Teil sind zwei Drähte von 0,6 ... 2,0 mm Stärke aus Platin und Platinlegierungen oder auch Nickel und Nickellegierungen.

Zwei der Drahtenden werden fest miteinander verlötet und der zu messenden Temperatur ausgesetzt. Durch Erwärmung zweier verschiedener Metalle entsteht ein geringer elektrischer Strom, der über ein empfindliches Meßinstrument geführt wird. Auf dessen entsprechend geeichter Skala ist die Temperatur in °C abzulesen.

Arbeit und Wärme (Gesetz von der Erhaltung der Energie):

Kraft. Jeder Körper, der nicht äußeren Einflüssen unterworfen wird, behält seinen Zustand, in dem er sich befindet, sei es den der Ruhe oder den der Bewegung, bei.

Soll dieser Zustand geändert werden, so ist dafür die Einwirkung einer Kraft P notwendig. Die Kraft ist also die Ursache einer Bewegung, eines Druckes oder einer Verformung. Die Einheit der Kraft P ist der Zug oder Druck, den 1 kg ausübt.

Arbeit. Beim Verschieben oder Heben eines Körpers wird mechanische Arbeit verrichtet. Ihre Größe ist das Produkt aus der in kg gemessenen Kraft P und dem in der Kraftrichtung zurückgelegten Weg s in Metern.

$$A = P \cdot s \text{ in kgm}$$

Wird ein Gewicht von G kg h Meter gehoben, so ist die hierbei verrichtete Arbeit

$$A = G \cdot h \text{ in kgm}$$

B e i s p i e l : Mittels Handpumpen sollen 100 kg Brennstoff aus den Brennstoffbunkern in den 5 m höher gelegenen Tagesverbrauchsbunker gefördert werden.

Die hierbei verrichtete Arbeit ist:

$$A = G \cdot h = 100 \cdot 5 = 500 \text{ kgm}$$

Leistung. Leistung ist Arbeit durch die Zeit. Als Maß für die Leistung N gilt das Kilogrammmeter je Sekunde (kgm/s).

$$N = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}} = \frac{A}{t} = \frac{P \cdot s}{t} \text{ in } \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$$

oder

$$N = \frac{G \cdot h}{t} \text{ in } \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$$

Nach obigem Beispiel wäre demnach die Leistung dieses Mannes, wenn er die 100 kg Brennstoff in 60 Sekunden umgepumpt hätte

$$N = \frac{100 \cdot 5}{60} = 8{,}33 \text{ kgm/s}$$

Für $\frac{s}{t}$ oder $\frac{h}{t}$ kann in der Mechanik auch v, das ist die Geschwindigkeit in m/s, gesetzt werden. Damit wird

$$N = P \cdot v \qquad [\text{kgm/s}]$$

Zur Bestimmung größerer Leistungen, z. B. bei Motoren, bedient man sich als Rechnungsgröße der Pferdestärke (PS) oder des Kilowatts (kW).

$$1\ \text{PS} = 75\ \text{kgm/s}$$
$$1\ \text{kW} = 102\ \text{kgm/s}$$

folglich wird für

$$N = \frac{A}{t \cdot 75}\ \text{in PS}$$

$$N = \frac{P \cdot v}{75}\ \text{in PS}$$

$$N = \frac{A}{t \cdot 102} = \frac{P \cdot v}{102}\ \text{in kW}$$

Aus diesen Beziehungen 1 PS = 75 kgm/s und 1 kW = 102 kgm/s folgt für

$$1\ \text{PS} = \frac{75}{102} = 0{,}736\ \text{kW} = 736\ \text{W}\ \text{und für}$$

$$1\ \text{kW} = \frac{102}{75} = 1{,}36\ \text{PS}$$

Versuche zeigen, daß Wärme und Arbeit gleichwertig sind, und daß zur Erzeugung einer Wärmeeinheit (kcal) eine mechanische Arbeit von 427 kgm erforderlich ist. Die Zahl 427 ist der Arbeitswert einer Kilokalorie und wird mit J bezeichnet.

$$J = 427\ \text{kgm/kcal}$$

Hierin hat man als Wärmeeinheit (kcal) diejenige Wärmemenge festgelegt, die erforderlich ist, um 1 kg Wasser von 14,5 auf 15,5° C zu erwärmen.

Zur Verrichtung einer Arbeit von A kgm ist eine Wärmemenge

$$Q = \frac{A}{J}\ \text{in kcal}$$

nötig, daraus ergibt sich der Arbeitswert für Q kcal Wärme

$$A = Q \cdot J\ \text{in kgm}$$

Rechnet man die bekannte Leistungseinheit PS in Pferdestärke und Stunde (PSh) und kW in Kilowatt und Stunde (kWh) um, so ergibt sich der theoretische Wärmeaufwand für

$$1\ \text{PSh} = \frac{A}{J} = \frac{75 \cdot 3600}{427} = 632\ \text{kcal}$$

$$1\ \text{kWh} = \frac{A}{J} = \frac{102 \cdot 3600}{427} = 860\ \text{kcal}$$



